

## Kajian Literatur : Pengembangan E-Modul Larutan Elektrolit Dan Nonelektrolit Berbasis Steam Untuk Meningkatkan Literasi Sains Peserta Didik

Nurul Annisa Amaliah Alim<sup>1</sup>, Eda Lolo Allo<sup>2</sup>, Dewiyanti Fadly<sup>3</sup>.

<sup>1,2,3</sup> Universitas Negeri Makassar

[nurulannisaamaliahalim@gmail.com](mailto:nurulannisaamaliahalim@gmail.com)

---

### Info Artikel

Sejarah Artikel:  
Diterima (Juni) (2026)

Disetujui (Juni) (2026)

Dipublikasikan (Juni)  
(2026)

---

### Keywords:

E-Modul, STEAM, PjBL  
Belimbing Wuluh,  
Literasi Sains

---

---

### Abstrak

*Kajian ini bertujuan menganalisis urgensi, landasan teoritis, dan rancangan pengembangan E-Modul berbasis STEAM yang mengintegrasikan bahan local (belimbing wuluh) dalam pembelajaran kimia, khususnya pada materi Larutan Elektrolit dan Nonelektrolit. Tingkat literasi sains peserta didik Indonesia yang masih tergolong rendah, sebagaimana tercermin dari hasil survei PISA menjadi isu yang patut mendapat perhatian serius dalam dunia pendidikan kimia, terutama pada materi yang dikenal memiliki tingkat keabstrakan tinggi. Metode penelitian yang digunakan adalah Studi Literatur Review (SLR) terhadap 13 artikel ilmiah terindeks yang diterbitkan dalam rentang tahun 2016 sampai 2025. Hasil penelusuran literatur mengungkapkan sejumlah temuan penting. E-Modul berbasis STEAM terbukti valid, praktis, dan efektif dalam mendorong peningkatan literasi sains sekaligus keterampilan berpikir kritis peserta didik. Selain itu, penerapan model Project-Based Learning (PjBL) yang disisipkan dalam kerangka STEAM mampu menghadirkan pengalaman belajar yang lebih kontekstual dan bermakna bagi peserta didik. Pada saat yang sama, Belimbing Wuluh terbukti memiliki pijakan ilmiah yang kuat sebagai elektrolit alami dan berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai komponen superkapasitor. E-Modul yang dirancang dalam kajian ini mengintegrasikan kelima elemen STEAM melalui proyek Bio-Baterai Belimbing Wuluh, sehingga peserta didik tidak hanya memperoleh pemahaman teoritis tentang daya hantar listrik, tetapi juga dapat mengembangkan literasi sains secara menyeluruh.*

---

### Abstract

*This study aims to analyze the urgency, theoretical foundation, and development design of a STEAM-based E-Module that integrates local materials (Averrhoa bilimbi/belimbing wuluh) in chemistry learning, particularly on the topic of Electrolyte and Non-Electrolyte Solutions. The relatively low science literacy level of Indonesian students, as reflected in PISA survey results, remains a serious concern in chemistry education, especially for topics that are inherently abstract in nature. The research method employed is a Systematic Literature Review (SLR) of 13 indexed scientific articles published between 2016 and 2025. The literature review revealed several important findings. The STEAM-based E-Module was proven valid, practical, and effective in promoting improvements in students' science literacy as well as critical thinking skills. Furthermore, the implementation of the Project-Based Learning (PjBL) model embedded within the STEAM framework was found to*

---

---

*provide more contextual and meaningful learning experiences for students. At the same time, Averrhoa bilimbi demonstrated a strong scientific basis as a natural electrolyte and shows considerable potential for further development as a supercapacitor component. The E-Module designed in this study integrates all five STEAM elements through the Averrhoa bilimbi Bio-Battery project, enabling students not only to acquire a theoretical understanding of electrical conductivity, but also to develop science literacy in a comprehensive and holistic manner.*

---

## **Pendahuluan**

Perkembangan era digital dewasa ini menuntut adanya pergeseran mendasar dalam paradigma pembelajaran, dari yang semula terpusat pada guru (*teacher centered*) menuju pembelajaran yang menempatkan peserta didik sebagai subjek utama (*student centered*). Seiring dengan tuntutan kecakapan Abad ke-21, peserta didik diharapkan mampu menguasai literasi sains secara memadai, yakni kemampuan memahami fenomena ilmiah, menilai bukti secara kritis, serta mengambil keputusan yang berlandaskan sains dalam konteks kehidupan nyata (OECD, 2022). Namun demikian, data dari survei internasional PISA mengindikasikan bahwa literasi sains peserta didik di Indonesia masih perlu mendapat perhatian yang lebih serius, mengingat praktik pembelajaran yang berlangsung cenderung masih bertumpu pada pendekatan teoretis dan tekstual.

Dalam mata pelajaran Kimia, materi Larutan Elektrolit dan Nonelektrolit merupakan materi yang bersifat fundamental karena menjadi penghubung antara pemahaman makroskopis seperti fenomena nyala lampu dengan pemahaman sub-mikroskopis yang menyangkut pergerakan ion-ion dalam larutan. Sifat materi ini kerap dianggap terlalu abstrak oleh sebagian besar peserta didik. Pembelajaran konvensional yang bertumpu pada buku cetak statis seringkali tidak mampu menggambarkan secara visual bagaimana proses ionisasi sesungguhnya berlangsung. Oleh sebab itu, kehadiran inovasi berupa E-Modul (Modul Elektronik) yang interaktif, mandiri, dan dapat diakses tanpa batasan waktu dan tempat menjadi sebuah kebutuhan nyata untuk mengatasi keterbatasan dalam pelaksanaan praktikum di laboratorium.

Nilai inovasi E-Modul akan semakin kuat apabila pengembangannya dipadukan dengan pendekatan STEAM yang mencakup *Science, Technology, Engineering, Arts, dan Mathematics*. Melalui kerangka STEAM, konsep kimia tidak lagi berdiri secara terpisah: peserta didik diajak untuk memahami sains, memanfaatkan *platform* digital, merancang

alat uji elektrolit sederhana, mengapresiasi dimensi estetika perubahan kimia, sekaligus menghitung konsentrasi dan daya hantar secara cermat (Suryanti et al., 2024).

Di samping pendekatan STEAM, unsur bahan lokal memiliki peran strategis sebagai jembatan yang mendekatkan konsep-konsep kimia dengan kehidupan nyata peserta didik. Indonesia sesungguhnya kaya akan pengetahuan tradisional yang memiliki landasan ilmiah, namun potensi tersebut jarang dihadirkan ke dalam ruang kelas. Pemanfaatan cairan buah-buahan lokal seperti Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi*) sebagai bahan pembersih logam maupun sumber energi alternatif merupakan salah satu contoh konkret keberadaan larutan elektrolit dalam kehidupan masyarakat sehari-hari (Suryaningsih, 2016). Pengintegrasian bahan lokal ke dalam E-Modul tidak hanya membantu mempermudah pemahaman konsep melalui benda-benda yang ada di lingkungan sekitar, tetapi juga berpotensi menumbuhkan karakter serta rasa bangga peserta didik terhadap identitas budaya bangsanya.

Kajian literatur ini secara khusus bertujuan untuk menganalisis urgensi pengembangan E-Modul berbasis STEAM pada materi larutan elektrolit dan nonelektrolit, memetakan kerangka teoritis yang melandasi integrasi STEAM, PjBL, dan bahan lokal dalam pembelajaran kimia, serta merumuskan rancangan konseptual E-Modul yang akan dikembangkan.

### **Metode Penelitian**

Metode penelitian ini menggunakan metode studi literatur rievew (SRL) atau kajian pustaka. SRL merupakan metode penelitian yang dilakukan dengan cara mengumpulkan dan menganalisis data dari berbagai sumber yang tertulis, seperti jurnal ilmiah, buku, prosiding konferensi maupun dokumen lainnya. Data yang diperoleh kemudian dianalisis, dibandingkan dan disintesis untuk memperoleh pemahaman yang mendalam mengenai permasalahan yang dikaji. SRL bertujuan untuk mengidentifikasi teori, temuan penelitian, serta perkembangan penelitian sebelumnya sehingga dapat menjadi dasar dalam penyusunan pembahasan dan penarikan kesimpulan.

Dalam penelitian ini, pencarian literatur dilakukan melalui berbagai sumber data elektronik bereputasi, meliputi Scopus, Google Scholar dan Sinta dengan proses penyaringan artikel menggunakan pedoman PRISMA (Preferensi Reporting Items for Systematic Rievews and Meta-Analyses). Topik utama kajian yang digunakan dalam

pencarian yaitu: E-Modul, STEAM, PjBL, belimbing wuluh sebagai larutan elektrolit, literasi sains dan kombinasinya dalam pembelajaran kimia. Artikel-artikel yang dimasukkan dalam kajian ini dipilih berdasarkan sejumlah kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya yaitu diterbitkan dalam rentang waktu 2016 hingga 2025, telah terindeks setidaknya pada Sinta 2, Scopus, atau jurnal bereputasi internasional lainnya, serta memiliki keterkaitan langsung dengan topik utama kajian. Sebanyak 13 artikel yang lolos seleksi kemudian dikaji secara menyeluruh melalui proses ekstraksi data ke dalam matriks sintesis yang memuat berbagai komponen, meliputi identitas penulis, tahun publikasi, judul, indeks jurnal, temuan pokok, serta relevansinya terhadap gagasan inovasi yang dikembangkan.

### Hasil Penelitian

Hasil penelitian diperoleh melalui studi literatur sistematis terhadap 13 artikel ilmiah yang relevan dengan topik kajian. Kajian literatur difokuskan pada pengembangan dan efektivitas E-Modul berbasis STEAM dalam pembelajaran kimia, peningkatan literasi sains peserta didik serta potensi ilmiah belimbing wuluh sebagai bahan elektrolit alami dalam konteks sains dan teknologi. Hasil kajian menunjukkan bahwa integrasi pendekatan STEAM dalam media pembelajaran digital terbukti meningkatkan literasi sains peserta didik secara signifikan, sekaligus membuka peluang pemanfaatan belimbing wuluh sebagai konteks pembelajaran yang autentik dan bermakna pada pembelajaran kimia terkhusus pada materi larutan elektrolit dan nonelektrolit.

### Ringkasan Literatur yang Dikaji

Berikut matriks sintesis yang dibuat dari 13 artikel yang digunakan sebagai bahan kajian dalam studi literatur riviw ini

Tabel 1. Ringkasan Literatur yang Dikaji

No.	Penulis (Tahun)	Judul	Indeks	Hasil Utama	Relevansi
1	Valentina Domenici (2022)	STEAM Project-Based Learning Activities at the Science Museum as an Effective Training for Future Chemistry Teachers	Q1	Pendekatan STEAM meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kreativitas, mengalihkan fokus dari teori ke aplikasi praktis.	Landasan teoritis penggabungan STEAM untuk meningkatkan literasi sains; dasar pedagogis E-Modul larutan elektrolit.

2	Nanda Putri Pertiwi, Sulistyو Saputro, Sri Yamtinah, & Azlan Kamari (2024)	Enhancing Critical Thinking Skills through STEM Problem-Based Contextual Learning: An Integrated E-Module Education Website with Virtual Experiments	Q1	E-modul STEM sangat layak (validasi 90,03%), efektif meningkatkan berpikir kritis (N-Gain 0,70).	Bukti empiris bahwa media digital berbasis STEM berdampak positif pada kualitas pembelajaran sains.
3	Rusmansyah, N. Anjaini, & M. Danu (2021)	Development of e-modules colloid materials based on PjBL-STEM to improve scientific literature and student learning outcomes	Q3	E-modul PjBL-STEM valid, praktis, dan efektif meningkatkan literasi sains serta hasil belajar secara signifikan.	Kerangka kerja E-Modul + PjBL-STEAM untuk meningkatkan literasi sains dalam konteks lokal.
4	Suryanti, Wasis, I. G. P. Suryadarma, & B. K. Prahani (2024)	STEAM-Project-Based Learning: A Catalyst for Elementary School Students' Scientific Literacy Skills	Q2	STEAM-PjBL secara signifikan meningkatkan literasi sains dibanding metode konvensional (uji-t bermakna).	Bukti empiris STEAM-PjBL sebagai katalis efektif untuk peningkatan literasi sains.
5	Tri Sardewi, Tria Rizki Amanah, Rusdianasari, Robert Junaidi, & Abu Hasan (2025)	Utilization of Rotten Tomato Juice and Starfruit Juice with the Addition of Potassium Hydroxide in Biobattery Production	Scopus	Jus belimbing wuluh menghasilkan tegangan dan arus stabil; asam sitrat dan askorbat mendukung reaksi elektrokimia.	Memperkaya aspek bahan lokal dan <i>Engineering</i> STEAM; dasar pro yek bio-baterai dalam E-Modul.
6	Seget Tartiyoso (2025)	Development of STEM-Based E-Module to	Q3	E-modul STEM meningkatkan kemampuan	Mendukung penyertaan eksperimen

		Enhance Science Literacy and Science Process Skills in Chemistry Learning		penjelasan ilmiah dan keterampilan desain eksperimen secara signifikan.	berbasis bahan lokal pada pengujian daya hantar listrik bahan alam.
7	Esty Setyo Utaminingsih & Ellianawati (2025)	Development of STEAM-Based E-Modules on Human Circulatory Topics Containing Critical Reasoning and Independent Characters	Q1	E-modul STEAM sangat valid (V Aiken > 0,94) dan efektif untuk pembelajaran mandiri.	Validasi kerangka STEAM dalam membangun kemandirian dan penalaran kritis; mendukung integrasi karakter dalam E-Modul.
8	Yuli Rahmawati, Rekha Syahira, Nurbaity, Maria Paristiowati, Achmad Ridwan, dan Elisabeth Taylor (2022)	Students' Engagement in Education as Sustainability: Implementing an Ethical Dilemma-STEAM Teaching Model	Q1	Dilema etika dalam STEAM meningkatkan keterlibatan kognitif, sosial, dan emosional peserta didik secara signifikan.	Memperkuat aspek pengembangan karakter dan literasi sains berbasis nilai budaya dan keberlanjutan.
9	Yuli Rahmawati, Edi Istiyono, Mawardi, & Lukman (2022)	Developing Students' Chemical Literacy through the Integration of Dilemma Stories into a STEAM Project	Q2	Cerita dilema dalam STEAM efektif mengembangkan literasi kimia dari pemahaman konten hingga isu sosial-sains.	Pola integrasi nilai dalam kimia; mendukung pengembangan E-Modul yang meningkatkan literasi sains holistik.
10	Awitdrus, Lailatul Rahmi, Iwantono, Rakhmawati F., & Agustino (2025)	Novel Avertroa bilimbi Linn. water-based natural acidic aqueous electrolyte for electrochemical energy storage	Q1	Belimbing wuluh sebagai elektrolit alami sekaligus bahan karbon aktif elektroda; kapasitansi 332,3 F/g.	Bobot ilmiah tinggi yang menghubungkan STEAM dan bahan Lokal; inspirasi nilai teknologi belimbing wuluh.
11	Annisah	Literacy Analysis	Q3	Guru memahami	Hambatan guru

	Faujiah Miftahul Jannah dan Anti Kolonial Prodjosantoso (2024)	of Chemistry Teachers on STEAM Learning Approach in Senior High Schools in West Nusa Tenggara		STEAM, tetapi hambatan implementasi nyata: kurang pelatihan, waktu terbatas, fasilitas belum merata.	menjadi alasan kuat urgensi E-Modul sebagai solusi praktis penerapan STEAM.
12	Dara Cyntia Safitri & Andromeda (2023)	Development of E-Module for Electrolyte and Nonelectrolyte Solution Based on PBL Integrated with STEAM	Sinta 2	E-modul PBL-STEAM sangat valid (0,87) dan praktis (88% guru, 86% peserta didik); meningkatkan kemandirian belajar.	Bukti empiris langsung bahwa materi larutan elektrolit memerlukan E-Modul berbasis STEAM.
13	Sri Suryaningsih (2016)	Belimbing Wuluh (Averrhoa Bilimbi) sebagai Sumber Energi dalam Sel Galvani	Sinta 2	Sel Galvani belimbing wuluh menghasilkan 0,72 volt dan 0,29 mA; perangkaian seri meningkatkan tegangan.	Data teknis rujukan eksperimen peserta didik; memperkuat aspek bahan Lokal dan <i>Science</i> dalam E-Modul.

## Pembahasan

Perkembangan era industri 4.0 mendorong kebutuhan akan media pembelajaran kimia yang tidak lagi terikat oleh keterbatasan tempat dan waktu. E-modul muncul sebagai salah satu solusi berupa perangkat belajar mandiri yang tersusun secara terstruktur guna membantu peserta didik mencapai tujuan pembelajaran secara digital. Jannah & Prodjosantoso (2024) menegaskan bahwa e-modul bukan sekadar versi digital dari buku teks biasa, melainkan sebuah ekosistem pembelajaran interaktif yang pengembangannya harus berpijak pada analisis kebutuhan literasi sains peserta didik.

Salah satu kelebihan utama e-modul adalah kemampuannya memuat berbagai elemen multimedia, seperti video percobaan dan simulasi molekuler. Safitri & Andromeda (2023) menyatakan bahwa fitur tersebut sangat berperan dalam membantu peserta didik memahami konsep-konsep abstrak, khususnya pada materi larutan elektrolit dan nonelektrolit. Tingginya skor validitas (0,87) serta tingkat kepraktisan yang baik mencapai 88% dari penilaian guru dan 86% dari peserta didik, membuktikan bahwa e-modul tidak hanya unggul secara konten ilmiah, tetapi juga

diterima dengan baik oleh pengguna di lapangan. Lebih jauh, Pertiwi et al. (2024) menemukan bahwa e-modul berbasis STEM mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik dengan perolehan N-Gain sebesar 0,70, yang termasuk dalam kategori tinggi dan merupakan bagian penting dari literasi sains.

Literasi sains merujuk pada kemampuan seseorang dalam memanfaatkan pengetahuan ilmiah, merumuskan pertanyaan yang tepat, serta menarik kesimpulan berdasarkan fakta dan bukti dalam konteks kehidupan sehari-hari. Suryanti et al. (2024) menekankan bahwa penerapan model pembelajaran yang inovatif berperan sebagai pemantik yang mempercepat penguasaan literasi sains. Pernyataan ini selaras dengan temuan Tartiyoso (2025) yang menunjukkan bahwa media pembelajaran berbasis teknologi yang kontekstual terbukti mampu meningkatkan keterampilan proses sains secara signifikan karena peserta didik tidak lagi sekadar menghafal rumus, tetapi sudah mampu menguraikan fenomena ilmiah yang mereka jumpai di lingkungan sekitar.

Pengembangan E-Modul ini diarahkan untuk menyentuh empat dimensi literasi sains, yakni: (1) kemampuan menjelaskan fenomena ilmiah, (2) kemampuan mengevaluasi dan merancang penyelidikan ilmiah, (3) kemampuan menginterpretasikan data dan bukti secara ilmiah, serta (4) kemampuan mengaplikasikan sains dalam konteks personal, lokal, maupun global.

Pendekatan STEAM yang memadukan *Science, Technology, Engineering, Arts*, dan *Mathematics* menawarkan kerangka pembelajaran lintas disiplin yang memperluas wawasan dan pengalaman belajar peserta didik. Domenici (2022) menunjukkan bahwa STEAM tidak hanya menjadikan proses belajar lebih menarik dan partisipatif, tetapi juga menggeser orientasi dari sekadar teori menuju penerapan nyata. Rahmawati et al. (2022) bahkan menemukan dimensi yang lebih dalam yaitu penyisipan dilema etika ke dalam kerangka STEAM terbukti mampu meningkatkan keterlibatan peserta didik secara kognitif, sosial, dan emosional, sekaligus menumbuhkan kesadaran nilai dan kepedulian terhadap lingkungan.

E-modul berbasis STEAM memenuhi kriteria sangat valid dan sangat praktis, di samping mampu mendorong kemandirian dan penalaran kritis peserta didik (Utaminingsih & Ellianawati, 2025). Di sisi lain, Jannah & Prodjosantoso (2024) mengidentifikasi sejumlah kendala nyata yang dihadapi guru dalam

mengimplementasikan STEAM, antara lain minimnya pelatihan khusus dan terbatasnya waktu persiapan. Temuan ini justru semakin memperkuat urgensi kehadiran E-Modul sebagai solusi praktis, sehingga guru dapat menerapkan pendekatan STEAM tanpa harus membangun perangkat pembelajaran dari awal.

Model pembelajaran berbasis proyek yang dipadukan dengan STEAM (PjBL-STEAM) menempatkan peserta didik sebagai aktor utama dalam proses belajar melalui penyelesaian proyek yang bersifat nyata dan kontekstual. Rusmansyah et al. (2021) membuktikan bahwa PjBL-STEAM yang dipadukan dengan konteks lokal seperti ekosistem lahan basah atau potensi sumber daya daerah, secara efektif mampu meningkatkan hasil belajar baik dari sisi kognitif maupun afektif. Dalam pembelajaran materi larutan elektrolit, pendekatan PjBL memberi ruang bagi peserta didik untuk menjalani proses eksperimen secara mandiri, mulai dari tahap perancangan pelaksanaan hingga evaluasi produk energi alternatif yang mereka buat sendiri.

Suryanti et al. (2024) melalui uji-t memperlihatkan bahwa perbedaan kemampuan kognitif dan aplikasi sains antara kelas PjBL-STEAM dan kelas konvensional sangat signifikan. Unsur seni dan rekayasa teknik yang disisipkan ke dalam proses pembelajaran terbukti mampu menyederhanakan konsep-konsep yang kompleks menjadi lebih konkret dan mudah dipahami. Pendekatan ini sekaligus melatih berbagai kecakapan hidup, seperti kemandirian belajar, kreativitas, dan kemampuan komunikasi ilmiah yang sangat relevan di era industri 4.0.

Pengintegrasian bahan lokal ke dalam pembelajaran kimia bertujuan mendekatkan materi sains dengan kehidupan sehari-hari peserta didik dan kekayaan alam yang ada di sekitar peserta didik. Suryaningsih (2016) telah membuka kajian mengenai potensi belimbing wuluh sebagai sumber energi dalam sel Galvani, berkat kandungan asam organiknya yang tinggi sehingga dapat menghasilkan tegangan 0,72 volt dan arus 0,29 mA pada satu sistem sel. Kajian ini kemudian diperkuat secara teknis oleh Sardewi et al. (2025) yang menemukan bahwa cairan belimbing wuluh memiliki konduktivitas yang memadai untuk menghasilkan arus listrik stabil dalam bio-baterai, dengan kandungan asam sitrat dan asam askorbat yang berperan sebagai mediator dalam reaksi elektrokimia.

Validasi ilmiah terbaru datang dari Awitdrus et al. (2025) yang membuktikan bahwa belimbing wuluh dapat dimanfaatkan secara dua fungsi sekaligus yaitu air

perasannya sebagai elektrolit alami, sementara limbah padatnya dapat diolah menjadi karbon aktif untuk elektroda superkapasitor dengan kapasitansi spesifik mencapai 332,3 F g<sup>-1</sup> dan densitas energi 39,97 Wh kg<sup>-1</sup>. Temuan ini menegaskan bahwa bahan lokal yang ada disekitar peserta didik sesungguhnya menyimpan nilai teknologi yang sangat strategis dan layak untuk diangkat sebagai bagian dari pembelajaran kimia dengan konteks nyata.

### **Simpulan**

Berdasarkan telaah terhadap 13 artikel ilmiah terindeks, kajian literatur ini menghasilkan beberapa simpulan yang saling berkaitan yaitu E-Modul berbasis STEAM telah terbukti secara empiris memenuhi kriteria valid, praktis, dan efektif dalam menunjang peningkatan literasi sains peserta didik pada mata pelajaran kimia, termasuk di dalamnya materi larutan elektrolit dan nonelektrolit. Penerapan model PjBL dalam bingkai STEAM pun terbukti mampu menciptakan pengalaman belajar yang kontekstual, bermakna, dan menyeluruh karena melibatkan seluruh dimensi perkembangan peserta didik, baik kognitif, afektif, maupun psikomotorik secara bersamaan. Di sisi lain, belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*) memiliki landasan ilmiah yang kokoh sebagai elektrolit alami sekaligus menyimpan potensi teknologi yang tinggi, sehingga menjadikannya sebagai bahan lokal yang sangat relevan untuk diintegrasikan ke dalam konten E-Modul kimia.

Selain dari itu, berbagai hambatan yang dihadapi guru dalam mengimplementasikan pendekatan STEAM di lapangan semakin menegaskan pentingnya kehadiran E-Modul sebagai solusi pembelajaran yang siap digunakan, inovatif, dan berlandaskan hasil riset. Berkaitan dengan arah penelitian ke depan, disarankan agar E-Modul ini dikembangkan secara empiris menggunakan rancangan penelitian *Research and Development* (R&D) dengan mengacu pada model ADDIE atau 4D. Setelah tahap pengembangan selesai, perlu dilakukan serangkaian pengujian yang mencakup validitas, kepraktisan, serta keefektifannya pada peserta didik SMA/MA dalam kondisi pembelajaran yang sesungguhnya.

### **Daftar Pustaka**

Awitdrus, A., Rahmi, L., Iwantono, I., Farma, R., & Agustino, A. (2025). Novel *Averrhoa bilimbi* Linn. water-based natural acidic aqueous electrolyte assembled with

activated carbon from A. bilimbi L. fruit waste for electrochemical energy storagesystem. *BiomassandBioenergy*, 203,108361

<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.108361>

Domenici, V. *Training of Future Chemistry Teachers by a Historical/STEAM Approach Starting from the Visit to an Historical Science Museum. Substantia* 2022, 7, 23–34.

<https://doi.org/10.36253/Substantia-1755>

Jannah, A. F. M., & Prodjosantoso, A. K. (2024). Literacy Analysis of Chemistry Teachers on STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) Learning Approach in Senior High Schools in West Nusa Tenggara Province. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(9), 6726-6736.

<https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i9.8730>

Utaminingsih, E. S., & Ellianawati, E. (2025). Development of steam-based e-modules on human circulatory topics containing critical reasoning and independent characters. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 26(1), 48-84.

<https://doi.org/10.17718/tojde.1368962>

OECD. (2022). *PISA 2022 assessment and analytical framework*. OECD Publishing.

<https://doi.org/10.1787/dce23f57-en>

Pertiwi, N. P., Saputro, S., Yamtinah, S., & Kamari, A. (2024). Enhancing Critical Thinking Skills through STEM Problem-Based Contextual Learning: An Integrated E-Module Education Website with Virtual Experiments. *Journal of Baltic Science Education*, 23(4), 739-766. <https://doi.org/10.33225/jbse/24.23.739>

Rahmawati, Y., Taylor, E., Taylor, P. C., Ridwan, A., & Mardiah, A. (2022). Students' engagement in education as sustainability: implementing an ethical dilemma-STEAM teaching model in chemistry learning. *Sustainability*, 14(6), 3554.

<https://doi.org/10.3390/su14063554>

Rahmawati, Y., Erdawati, E., Ridwan, A., Veronica, N., & Hadiana, D. (2024). Developing Students' Chemical Literacy through the Integration of Dilemma Stories into a STEAM Project on Petroleum Topic. *Journal of Technology and Science Education*, 14(2), 376-392. <https://doi.org/10.3926/jotse.2221>

Rusmansyah, Anjaini, N., & Kusasi, M. (2021, November). Development of e-modules coloid materials based on PjBL-STEM to improve scientific literature and student learning outcomes of wetlands context. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2104, No. 1, p. 012026). IOP Publishing.

<https://doi.org/10.1088/1742-6596/2104/1/012026>

Safitri, D. C., & Andromeda, A. Development of E-Module for Electrolyte and Nonelectrolyte Solution Based on Problem Based Learning Integrated with STEAM for SMA/MA. *Journal of Educational Sciences*, 202-212.

- Sardewi, T., Amanah, T. R., Rusdianasari, R., Junaidi, R., & Hasan, A. (2025). Utilization of Rotten Tomato Juice and Starfruit Juice with the Addition of Potassium Hydroxide in Biobattery Production. *AJARCDE (Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment)*, 9(3), 39-47. <https://doi.org/10.29165/ajarcde.v9i3.772>
- Suryaningsih, S. (2016). Belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*) sebagai sumber energi dalam sel galvanik. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, 6(1), 11-17. <https://doi.org/10.26740/jpfa.v6n1.p11-17>
- Suryanti, Nursalim, M., Choirunnisa, N. L., & Yuliana, I. (2024). STEAM-project-based learning: A catalyst for elementary school students' scientific literacy skills. *European Journal of Educational Research*, 13(1), 1-14. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.13.1.1>
- Tartiyoso, S. (2025). Development of STEM-Based E-Module to enhance science literacy and science process skills in Chemistry learning. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(4), 1124-1132. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i4.10844>