



Pengembangan E-Modul Berbasis ESD pada Topik Pengolahan Limbah Plastik menjadi Bahan Bakar Alternatif untuk Mengembangkan Identitas Sains Peserta Didik

Development of an ESD-Based E-Module on Plastic Waste Processing into Alternative Fuel for Enhancing Students' Science Identity

Oleh:

Eky Astria Dwi Putri¹, Ali Kusrijadi¹, Hernani^{1*}

¹Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia, Indonesia

*Correspondence email: hernani@upi.edu

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan e-modul berbasis ESD pada topik pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif guna mendukung pengembangan identitas sains peserta didik. Secara lebih rinci, tujuan penelitian ini meliputi mendeskripsikan desain e-modul, memperoleh hasil triangulasi validasi ahli terkait kelayakan e-modul, dan mengetahui profil identitas sains peserta didik setelah menggunakan e-modul. Metode penelitian yang digunakan adalah *Design and Development Research* (DDR) yang berfokus pada pengembangan produk melalui tahapan *specific project phases*, yaitu analisis, perancangan, pengembangan, dan evaluasi. Partisipan terdiri dari 7 orang guru kimia yang terlibat pada tahap analisis kebutuhan serta 3 orang validator yaitu 2 orang dosen ahli dan 1 orang guru kimia. Selain itu, 9 orang peserta didik kelas X dari salah satu SMA di Kota Bandung terlibat dalam uji terbatas berdasarkan perbedaan kemampuan akademik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa e-modul dikembangkan dengan memperhatikan indikator identitas sains dan aspek-aspek ESD serta dirancang sesuai dengan karakteristik bahan ajar digital yang mengacu pada aspek isi, penyajian, kebahasaan, dan kegrafikan. Berdasarkan hasil validasi ahli, diperoleh bahwa e-modul layak digunakan dalam pembelajaran dengan beberapa saran sebagai bahan penyempurnaan. Selain itu, hasil uji terbatas menunjukkan adanya kecenderungan perkembangan positif pada profil identitas sains peserta didik, yang tercermin dari sikap, pernyataan, dan ketercapaian kompetensi sains.

ABSTRACT

This research aims to produce an ESD-based e-module on the topic of processing plastic waste into alternative fuel to support the development of students' science identity. More specifically, the objectives of this study include describing the design of the e-module, obtaining the results of expert validation triangulation related to the feasibility of the e-module, and identifying the profile of students' science identity after using the e-module. The research method used is *Design and Development*

Info artikel:

Diterima: 7 Februari 2026
Direvisi: 2 Maret 2026
Disetujui: 20 Maret 2026
Terpublikasi online: 1 April 2026
Tanggal publikasi: 1 April 2026

Kata Kunci:

Bahan bakar alternatif,
E-modul,
ESD,
Identitas sains,
Pengolahan limbah plastik.

Key Words:

Alternative fuel,
e-module,
ESD,
Science identity,
Plastic waste processing.

Research (DDR), which focuses on product development through specific project phases, namely analysis, design, development, and evaluation. The research participants consisted of 7 chemistry teachers involved in the needs analysis stage, as well as three validators, namely two expert lecturers and one chemistry teacher. In addition, 9 tenth-grade students from one high school in Bandung participated in a limited test based on differences in academic ability. The research results show that the e-module was developed by paying attention to indicators of science identity and aspects of ESD, and was designed according to the characteristics of digital learning materials referring to content, presentation, language, and graphics aspects. Based on expert validation results, it was found that the e-module is feasible to use in learning with several suggestions as material for improvement. In addition, limited testing results show a tendency for positive development in students' science identity profiles, as reflected in attitudes, statements, and the achievement of science competencies.

1. PENDAHULUAN

Memasuki era peralihan dari revolusi industri 4.0 menuju 5.0, literasi sains menjadi salah satu kemampuan yang sangat penting untuk dikembangkan sebagai upaya mempersiapkan peserta didik menghadapi berbagai tantangan dunia yang semakin kompleks (Alimuddin *et al.*, 2023). Literasi sains tidak hanya berkaitan dengan pemahaman konsep, tetapi juga mencakup kemampuan dalam mengidentifikasi atau merumuskan pertanyaan, menyusun pengetahuan baru, memaparkan penjelasan secara ilmiah, menarik kesimpulan berdasarkan bukti ilmiah, dan membiasakan pola pikir reflektif melalui penerapan pengetahuan yang telah dimiliki. Kemampuan literasi sains yang baik berpotensi memengaruhi peran seseorang dalam menangani isu-isu dan gagasan terkait sains. Seseorang dengan kemampuan literasi sains yang baik cenderung lebih siap untuk mengambil peran yang mengharuskannya untuk berpikir kritis dan kreatif (OECD, 2023).

Literasi sains memiliki keterkaitan erat dengan identitas sains. Identitas sains adalah cara seseorang memandang dan memahami sains, termasuk kesadaran akan peran dan dampak sains bagi masyarakat dan lingkungan sekitarnya. Selain itu, identitas sains juga tercermin dari adanya keinginan untuk berpartisipasi dalam berbagai kegiatan atau karya yang berkaitan dengan sains (OECD, 2023). Identitas sains menjadi fondasi penting dalam membangun literasi sains yang kuat. Hal tersebut didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Childers & Jones (2017) yang menunjukkan bahwa identitas sains yang baik dapat menumbuhkan motivasi yang tinggi dalam mempelajari sains, sehingga dalam hal ini literasi sains juga berpotensi untuk berkembang seiring dengan berkembangnya identitas sains yang dimiliki.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengembangkan identitas sains yaitu melalui penyediaan bahan ajar yang tepat. Modul elektronik dapat menjadi alternatif untuk menunjang pengembangan identitas sains. Hal tersebut didukung oleh karakteristik yang dimiliki modul, yaitu dapat dipelajari secara mandiri (*self-instructional*), memuat materi secara lengkap (*self-contained*), dapat digunakan tanpa bergantung pada bahan ajar lain (*stand-alone*), mudah menyesuaikan (*adaptive*), dan mudah digunakan (*user-friendly*) (Subayuni & Nugroho, 2018). Namun, ketersediaan e-modul yang secara khusus mendukung pengembangan identitas sains peserta didik saat ini masih minim. Salah satu penyebabnya adalah karena sumber belajar di sekolah masih didominasi oleh buku ajar atau teks cetak (Fuadi *et al.*, 2020). Seiring dengan perkembangan teknologi digital yang semakin pesat, penggunaan e-modul menjadi salah satu

alternatif yang sangat relevan. Modul dalam bentuk elektronik juga memiliki kelebihan yang lebih unggul, yang memungkinkan terjadinya interaksi dan umpan balik yang lebih baik, sehingga dinilai mampu mendukung pencapaian tujuan pembelajaran dengan lebih efektif, termasuk dalam pengembangan identitas sains peserta didik (Sidiq & Najuah, 2020).

Dalam penyusunan e-modul yang menjadi penunjang pengembangan identitas sains, diperlukan juga adanya penerapan *Education for Sustainable Development* (ESD). ESD berkaitan dengan agenda global tahun 2030 yang mencakup 17 tujuan pembangunan berkelanjutan atau disebut juga Sustainable Development Goals (SDGs) yang disepakati oleh Perserikatan Bangsa-bangsa (PBB) pada tahun 2015 (UNESCO, 2018). Menurut Hoffman & Siege (2018), ESD merupakan proses pendidikan yang memiliki tujuan untuk membentuk individu agar mampu berperan aktif dalam pembangunan berkelanjutan, dengan mempertimbangkan dampak dari setiap tindakan yang diambil, baik secara sosial, ekonomi, maupun lingkungan.

Dalam pengembangan bahan ajar berupa e-modul berbasis ESD yang bertujuan untuk mengembangkan identitas sains peserta didik, diperlukan pemilihan topik yang kontekstual dan dekat dengan kehidupan sehari-hari. Pemilihan topik dalam hal ini mengacu pada pandangan PISA terkait prinsip pemilihan topik, yaitu: (a) topik harus berkaitan dengan situasi nyata; (b) topik tetap relevan, setidaknya dalam satu dekade ke depan; dan (c) topik harus mendukung pengembangan kompetensi proses, sehingga pengetahuan tidak hanya sekadar hafalan atau terbatas pada informasi tertentu (Hayat & Yusuf, 2010). Sejalan dengan prinsip tersebut, topik keterbatasan bahan bakar minyak dan pengolahan limbah plastik dinilai memiliki tingkat relevansi yang kuat. Hal ini didukung oleh hasil survei awal terhadap 7 orang guru, di mana seluruh responden menyatakan bahwa isu krisis energi dan limbah plastik berpotensi menjadi topik yang relevan dalam upaya mengembangkan identitas sains peserta didik. Selain itu, para guru juga menyatakan bahwa topik ini selaras dengan penerapan ESD.

Terkait dengan bahan bakar minyak, data dari ESDM (2024) menunjukkan bahwa konsumsi energi pada sektor transportasi masih sangat bergantung pada energi yang bersumber dari minyak bumi, sedangkan ketersediaan minyak bumi terus mengalami penurunan akibat kebutuhan yang semakin meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk. Selain itu, permasalahan limbah juga menunjukkan kondisi yang semakin serius. Berdasarkan data SIPSN (2025) dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), jumlah limbah nasional mencapai sekitar 34,2 juta ton per tahun yang berasal dari 317 kota/kabupaten. Dari jumlah tersebut, limbah plastik menjadi penyumbang terbesar kedua, yaitu sebanyak 19,74%. Banyaknya limbah plastik ini berdampak negatif terhadap lingkungan, seperti penurunan kualitas lingkungan, terganggunya resapan air dan sirkulasi udara ke dalam tanah yang berujung pada penurunan kualitas tanah, pencemaran air, hingga menyebabkan bencana seperti banjir (Utami *et al.*, 2020).

Permasalahan terkait keterbatasan bahan bakar minyak dan tingginya jumlah limbah plastik memerlukan penanganan yang efektif. Kedua permasalahan tersebut dapat diupayakan melalui pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif. Proses yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif adalah pirolisis, yaitu pemecahan rantai polimer melalui pemanasan pada suhu tinggi (Supanto *et al.*, 2021). Penelitian yang dilakukan oleh Jariyanti *et al.* (2022) membuktikan bahwa proses pirolisis mampu menghasilkan minyak pirolisis yang berpotensi digunakan sebagai bahan bakar alternatif.

Berdasarkan berbagai permasalahan yang telah diuraikan, diperlukan penelitian yang dapat memberikan solusi yang relevan. Salah satu alternatif solusi yang diusulkan adalah pengembangan e-modul berbasis ESD dengan topik pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif. Pengembangan ini diharapkan dapat menjadi langkah awal dalam memberikan

pemahaman konseptual kepada peserta didik. Urgensi pengembangan e-modul ini juga didukung oleh hasil survei awal yang menunjukkan bahwa seluruh responden menyepakati pentingnya topik yang sesuai dan penerapan ESD untuk mengembangkan identitas sains peserta didik.

2. METODOLOGI

Penelitian ini mengadopsi metode *Design and Development Research* yang dikemukakan oleh Richey & Klein (2014). Tipe penelitian yang digunakan berorientasi pada pengembangan produk serta berfokus pada tahapan proyek tertentu (*specific project phases*) yang terdiri dari empat tahap, yaitu: (1) analisis; (2) perancangan; (3) pengembangan; dan (4) evaluasi. Pada tahap analisis dilakukan studi literatur terkait identitas sains dan ESD, analisis kurikulum, analisis materi, dan survei awal yang melibatkan 7 orang guru kimia di Kota Bandung sebagai subjek penelitian. Pada tahap perancangan dilakukan perumusan tujuan pembelajaran, perumusan konten dan konteks, serta penyusunan kerangka (*outline*) e-modul. Pada tahap pengembangan dilakukan pengumpulan dan penyusunan materi, perumusan soal, penyusunan e-modul dalam format digital, dan validasi. Pada tahap evaluasi dilakukan uji terbatas kepada 9 orang peserta didik kelas X dari salah satu SMA Negeri di Kota Bandung. Validasi pada tahap pengembangan dan evaluasi dilakukan dengan teknik triangulasi investigator untuk menjamin keabsahan data dan menilai keefektifan e-modul dalam mencapai tujuan pembelajaran, khususnya dalam mengembangkan identitas sains peserta didik.

Instrumen penelitian yang digunakan yaitu format konstruksi e-modul, lembar validasi, dan lembar analisis profil identitas sains peserta didik. Format konstruksi e-modul terdiri dari perumusan tujuan pembelajaran, perumusan konten dan konteks, penyusunan kerangka e-modul, penggabungan teks asli dan pembuatan teks dasar, serta perumusan soal latihan dan evaluasi yang didasarkan pada aspek identitas sains menurut OECD (2023). Hasil validasi ahli terhadap e-modul diolah dengan merangkum saran-saran perbaikan pada teks dan soal. Validasi teks berfokus pada kesesuaian antara konten dan konteks dengan tujuan pembelajaran, kesesuaian teks dengan konten dan konteks, ketepatan penggunaan ilustrasi, gambar, dan tabel pada teks, serta kelayakan kebahasaan dengan tingkat perkembangan peserta didik. Sementara itu, validasi soal berfokus pada kesesuaian pertanyaan dengan tujuan pembelajaran, kesesuaian pertanyaan dengan indikator kompetensi sains dan identitas sains, serta ketepatan rubrik jawaban untuk memastikan bahwa pertanyaan yang diberikan mendukung pencapaian yang diharapkan. Adapun hasil uji coba terbatas e-modul diolah dengan menganalisis jawaban peserta didik berdasarkan rubrik yang telah dirancang dan divalidasi untuk memperoleh profil identitas sains peserta didik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengembangan Produk E-Modul

Dalam proses pengembangan produk e-modul, terdapat tiga tahap yang dilakukan, yang mencakup tahap analisis, perancangan, dan pengembangan produk.

3.1.1 Analisis Kebutuhan Pengembangan E-Modul

Penelitian ini menggunakan dimensi identitas sains menurut OECD (2023) sebagai acuan karena OECD menyelenggarakan PISA yang menjadi standar pengukuran literasi sains peserta didik, termasuk aspek identitas sains (OECD, 2023). Dimensi ini mencakup: 1) menghargai sudut pandang dan pendekatan ilmiah; 2) aspek afektif dalam identitas sains; dan 3) kesadaran, kepedulian, serta peran aktif terhadap lingkungan. Dimensi-dimensi tersebut disertai indikator yang lebih spesifik yang dapat mendukung

pengembangan e-modul dan evaluasi ketercapaiannya. Adapun ESD diterapkan melalui tiga aspek keberlanjutan, yaitu lingkungan, sosial, dan ekonomi (Hariram *et al.*, 2023; UNESCO, 2018).

Topik pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif dipilih sesuai dengan prinsip PISA. Topik ini berkaitan dengan situasi nyata, mengingat sampah plastik menjadi limbah kedua terbanyak di Indonesia (SIPSN, 2025). Hal tersebut menunjukkan juga bahwa topik ini relevan dengan literasi sains dari aspek konteks, yaitu keterhubungan individu dengan sains dalam situasi nyata (Shein *et al.*, 2019; OECD, 2023). Selain itu, topik ini diperkirakan relevan dalam jangka panjang karena ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin terbatas seiring dengan meningkatnya kebutuhan akibat pertumbuhan penduduk (ESDM, 2024). Dari sisi kompetensi, topik ini juga mendukung pengembangan proses ilmiah dengan mendorong peserta didik untuk aktif dalam menganalisis, mengevaluasi, dan mengeksplorasi solusi. Topik ini juga memberikan ruang bagi peserta didik untuk memahami isu lingkungan, sosial, dan ekonomi secara menyeluruh.

Penerapan topik ini selaras dengan Kurikulum Merdeka, yang mengacu pada capaian pembelajaran (CP) dan penguatan Profil Pelajar Pancasila (P3) (Gianto *et al.*, 2024). Topik pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif dapat dijadikan materi pengayaan kelas X atau fase E, yaitu pada materi energi alternatif dan pemanfaatannya untuk mengatasi keterbatasan energi, dengan sub capaian pembelajaran dan P3 tercantum dalam Tabel 1 (KEMENDIKBUDRISTEK, 2024).

Tabel 1. Sub CP dan Profil Pelajar Pancasila (P3)

Sub Capaian Pembelajaran (Fase E)	Profil Pelajar Pancasila
Peserta didik memahami energi alternatif dan pemanfaatannya untuk mengatasi permasalahan ketersediaan energi.	1. Beriman, bertakwa kepada Tuhan YME, dan berakhlak mulia 2. Berkebhinekaan global 3. Bergotong royong 4. Mandiri 5. Bernalar kritis 6. Kreatif

Adapun keterkaitan antara Profil Pelajar Pancasila dengan beberapa indikator identitas sains tercantum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Keterkaitan P3 dengan Indikator Identitas Sains OECD (2023)

Profil Pelajar Pancasila	Indikator Identitas Sains yang Relevan
Beriman, bertakwa kepada Tuhan YME, dan berakhlak mulia	Kepedulian terhadap lingkungan dan keberlanjutan hidup, termasuk isu kesetaraan dan keadilan sosial yang terkait.
Berkebhinekaan global	Kemampuan menilai secara kritis terhadap peran sains dan faktor lain dalam praktik keberlanjutan.
Bergotong royong	Kesediaan untuk terlibat dalam berbagai isu sains.
Mandiri	Seberapa mampu peserta didik merasakan diri mereka menjadi bagian dari sains.

Profil Pelajar Pancasila	Indikator Identitas Sains yang Relevan
Bernalar kritis	Kemampuan mengambil sudut pandang yang kritis dan berdasarkan bukti terkait isu lingkungan yang relevan secara pribadi dan sosial.
Kreatif	Kecenderungan untuk menerapkan dan mendorong praktik-praktik lingkungan yang berkelanjutan.

Tabel 2 menunjukkan bahwa indikator identitas sains memiliki keterkaitan dengan P3. Hal ini menegaskan bahwa upaya mengembangkan identitas sains melalui pembelajaran juga berkontribusi pada penguatan karakter yang ditekankan dalam Kurikulum Merdeka.

Ditinjau dari sisi materi, berdasarkan buku yang diterbitkan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi serta ditulis oleh Puspaningsih *et al.* (2021), pada materi energi alternatif pembahasan lebih berfokus pada jenis-jenis energi terbarukan, seperti tenaga surya, air, dan angin, tetapi tidak membahas mengenai bahan bakar alternatif. Oleh karena itu, dalam pengembangan e-modul dengan topik pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif perlu disajikan mulai dari pembahasan mengenai bahan bakar alternatif secara umum agar peserta didik dapat melihat keterkaitan konsep ilmiah dengan topik utama yang dibahas.

Selain pertimbangan yang telah dijelaskan, kebutuhan pengembangan e-modul ini juga diperkuat melalui penyebaran kuesioner kepada tujuh guru yang mengajar mata pelajaran kimia di jenjang Sekolah Menengah Atas, khususnya guru yang mengajar kelas X atau fase E. Hasil survei tercantum dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Survei Kebutuhan Pengembangan E-modul

Pokok Pertanyaan	Responden	Jawaban	
		Ya	Tidak
Kebutuhan pengembangan e-modul berbasis ESD pada topik pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif untuk mengembangkan identitas sains peserta didik	Responden 1	√	
	Responden 2	√	
	Responden 3	√	
	Responden 4	√	
	Responden 5	√	
	Responden 6	√	
	Responden 7	√	

Berdasarkan hasil survei, diperoleh bahwa seluruh responden guru kimia menyatakan bahwa e-modul berbasis ESD pada topik pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif untuk mengembangkan identitas sains peserta didik perlu dikembangkan.

3.1.2 Perancangan Produk E-Modul

Perancangan produk e-modul diawali dengan merumuskan tujuan pembelajaran. Menurut Regina (2018), tujuan pembelajaran dalam suatu proses pembelajaran yang utuh mencakup pencapaian keterampilan, pengetahuan, dan sikap yang harus dimiliki oleh peserta didik. Selain itu, tujuan pembelajaran yang dirumuskan dalam penelitian ini juga disandingkan dengan indikator identitas sains, indikator kompetensi sains, dan aspek ESD. Mengacu juga pada analisis yang dilakukan pada tahap awal, diperlukan adanya pengantar mengenai bahan bakar alternatif. Oleh karena itu, e-modul ini dibagi menjadi

dua submodul, di mana submodul 1 membahas mengenai bahan bakar alternatif dan submodul 2 membahas pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif. Tabel 4 adalah contoh perumusan tujuan pembelajaran.

Tabel 4. Contoh Perumusan Tujuan Pembelajaran

Capaian Pembelajaran	Indikator Kompetensi Sains	Indikator Identitas Sains	Aspek ESD	Tujuan Pembelajaran
Pemahaman IPA: Peserta didik memahami energi alternatif dan pemanfaatannya untuk mengatasi permasalahan ketersediaan energi.	Menggunakan berbagai bentuk representasi dan menerjemahkannya; mengenali dan mengembangkan hipotesis yang jelas tentang fenomena di dunia.	Mengembangkan minat pada fenomena ilmiah dan model serta penjelasan terkait.	Lingkungan: Sumber daya alam.	Mengarahkan peserta didik untuk mampu mengidentifikasi perubahan konsumsi energi yang dapat menjadi dasar permasalahan energi.
Keterampilan proses: Memproses, menganalisis data dan informasi.				

Tahap perancangan e-modul yang dilakukan setelah perumusan tujuan pembelajaran adalah perumusan konten dan konteks. Konten dan konteks yang dirumuskan mengacu pada capaian pembelajaran dan tujuan pembelajaran yang telah dirumuskan. Selain itu, tahap perumusan konten dan konteks juga erat kaitannya dengan tahap analisis materi yang dilakukan untuk mengidentifikasi materi utama yang perlu dibahas dalam topik pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif. Tahap perumusan konten menjadi tahap di mana peneliti mulai mengisi kerangka dan alur materi secara mendetail. Proses ini melibatkan pemilihan dan penyusunan materi secara spesifik yang akan dicantumkan dalam e-modul. Tabel 5 adalah contoh perumusan konten dan konteks.

Tabel 5. Contoh Perumusan Konten dan Konteks

Sub Capaian Pembelajaran	Tujuan Pembelajaran	Konten dan Konteks
Peserta didik memahami energi alternatif serta pemanfaatannya dalam mengatasi permasalahan ketersediaan energi.	Mengarahkan peserta didik untuk mampu mengidentifikasi perubahan konsumsi energi yang dapat menjadi dasar permasalahan energi.	<ul style="list-style-type: none"> • Pengertian energi • Energi dibutuhkan di berbagai aktivitas kehidupan • Klasifikasi energi berdasarkan asalnya • Data konsumsi energi


Tahap yang dilakukan pada perancangan juga adalah penyusunan *outline* e-modul yang merujuk pada komponen e-modul yang dikemukakan oleh Lastri (2023). Komponen dalam e-modul mencakup tinjauan mata pelajaran, pendahuluan, kegiatan belajar, latihan dan rambu-rambu, rangkuman, tes formatif, serta kunci jawaban dan tindak lanjut. Posisi dan penyajian komponen e-modul, beberapa di antaranya disesuaikan kembali untuk

memberikan alur belajar yang lebih terstruktur dan mudah diikuti oleh peserta didik, sehingga komponen dan urutan yang disajikan, yaitu: (1) sampul depan; (2) kata pengantar; (3) daftar isi, gambar, tabel, dan video; (4) tinjauan e-modul; (5) petunjuk penggunaan e-modul; (6) peta konsep; (7) sub modul 1 dan 2, yang berisikan tujuan pembelajaran, materi pokok dan soal latihan, soal evaluasi, rangkuman, serta refleksi dan tindak lanjut; (8) glosarium; (9) daftar pustaka; serta (10) profil penulis.

3.1.3 Pengembangan E-Modul

Pada tahap pengembangan dilakukan pembuatan produk sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Pada tahap ini, pengembangan dilakukan dengan memperhatikan aspek kelayakan bahan ajar serta karakteristik dasar e-modul, yaitu *self-instructional*, *self-contained*, *stand-alone*, adaptif, dan mudah digunakan (Subayuni & Nugroho, 2018). Tahap pertama yang dilakukan dalam pengembangan adalah penggabungan teks asli dan pembuatan teks dasar. Teks asli diperoleh dari analisis berbagai literatur yang relevan, seperti buku dan artikel ilmiah. Selain mempertimbangkan kesesuaian dengan konten dan konteks yang telah dirumuskan, pada penggabungan teks asli juga ditekankan pengintegrasian ESD yang mencakup aspek lingkungan, sosial, dan/atau ekonomi. Adapun dilakukan penghalusan teks yang mencakup proses mengurangi, menambahkan, dan/atau mengganti kata atau kalimat dengan tujuan memperbaiki struktur bahasa dan menyederhanakan tanpa mengubah makna dari materi yang dibahas (Rostikawati & Permanasari, 2016). Tabel 6 adalah contoh hasil penggabungan teks asli dan pembuatan teks dasar.

Tabel 6. Contoh Hasil Penggabungan Teks Asli dan Pembuatan Teks Dasar.

Tujuan Pembelajaran	Penghalusan Teks Asli	Teks Dasar
Mengarahkan peserta didik untuk mampu mengidentifikasi perubahan konsumsi energi yang dapat menjadi dasar permasalahan energi.	Energi ialah didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja usaha (Solikah & Bramastia, 2024). Seperti halnya manusia yang memerlukan energi untuk melakukan berbagai aktivitas, Energi dibutuhkan bagi aktivitas manusia, berbagai aktivitas kehidupan juga bergantung pada penggunaan energi terutama untuk mulai dari kegiatan aktivitas perekonomian, rumah tangga, Industri, bisnis, dan hingga transportasi (Desti, 2022). Oleh karena itu, Energi menjadi suatu salah satu kebutuhan yang sangat vital utama bagi kehidupan manusia saat ini . (Adzikri et al., 2021).	Tahukah kamu bahwa permasalahan energi menjadi salah satu hal yang sangat serius, termasuk di Indonesia? 

Gambar 1.

Contoh Penggunaan Energi

Sumber: [Sweetcrudereports](#)

Energi didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan usaha. Seperti halnya manusia yang memerlukan energi untuk melakukan aktivitas, berbagai aktivitas kehidupan juga bergantung pada penggunaan energi, mulai dari aktivitas ekonomi, rumah tangga, industri, bisnis, hingga transportasi. Oleh karena itu, energi menjadi salah satu kebutuhan utama bagi kehidupan manusia.

Keterangan:


Teks: Tujuan dan pertanyaan pengarah yang berkaitan

Teks: Kata atau kalimat yang ditambah

~~**Teks:** Kata atau kalimat yang dihapus~~

Tahap kedua dalam pengembangan adalah perumusan soal. Pada tahap perumusan soal latihan dan evaluasi, soal dirancang dengan tujuan utama untuk mengembangkan dan mengevaluasi identitas sains peserta didik. Oleh karena itu, penyusunan soal mengacu pada indikator-indikator dalam dimensi identitas sains. Dalam perumusan soal, satu soal tidak selalu ditujukan untuk mengukur satu indikator secara spesifik. Hal ini didasarkan pada beberapa pertimbangan, seperti jumlah indikator yang cukup banyak dan waktu yang diperlukan peserta didik untuk menyelesaikan soal. Tabel 7 adalah contoh hasil perumusan soal.

Tabel 7. Contoh Hasil Perumusan Soal

Indikator Pembelajaran	Indikator Kompetensi Sains dan Identitas Sains	Pertanyaan	Rubrik Jawaban
<p>Tujuan Pembelajaran 1: Mengarahkan peserta didik untuk mampu mengidentifikasi perubahan konsumsi energi yang dapat menjadi dasar permasalahan energi</p>	<p>Indikator Kompetensi Sains: Menggunakan berbagai bentuk representasi data dan menerjemahkannya</p> <p>Indikator Identitas Sains: Mengembangkan minat pada fenomena ilmiah dan model serta penjelasan terkait</p>	 <p>Gambar 2. Data Konsumsi Energi per Kapita Sumber: ESDM (2024)</p> <p>Perhatikan data konsumsi energi dari tahun 2013–2023. Analisis perubahan konsumsi selama periode ini yang dapat mengarah pada permasalahan kekurangan atau krisis energi!</p>	<p>Berdasarkan data konsumsi energi per kapita tahun 2013-2023 dapat diketahui bahwa konsumsi energi terus mengalami perubahan di setiap tahunnya. Jika dilihat secara rata-rata, konsumsi energi mengalami peningkatan. Hal ini dapat mengarah pada permasalahan kekurangan atau krisis energi karena dapat mempercepat penurunan ketersediaan energi jika sumber energi yang digunakan terbatas.</p>

Keterangan:

Teks: Poin utama yang diharapkan muncul dalam jawaban peserta didik.

Tahap yang dilakukan setelah pembuatan teks dasar dan perumusan soal adalah penyusunan e-modul dalam format digital yang dilakukan sesuai dengan *outline* yang telah dibuat pada tahap perancangan. Penyusunan e-modul dilakukan menggunakan aplikasi Canva. Dalam penyusunan e-modul dengan format digital, aspek kegrafikan memegang peran penting untuk mendukung keterbacaan dan kenyamanan peserta didik dalam menggunakan e-modul. Format e-modul dibuat agar dapat diakses dengan jelas dalam berbagai perangkat digital. Ukuran halaman yang digunakan adalah A4. Adapun pemilihan jenis huruf dan ukuran huruf dibuat konsisten untuk menjaga tampilan e-

modul tetap rapi agar peserta didik nyaman menggunakan e-modul yang dikembangkan. Jenis huruf yang digunakan sebagai judul pada bagian isi adalah Impact dengan ukuran 23, sedangkan untuk bagian isi digunakan jenis huruf *Times New Roman* dengan ukuran 12. Adapun desain dalam penyusunan e-modul diterapkan dengan mempertimbangkan prinsip estetika dan fungsional. Dalam e-modul ini juga warna yang digunakan konsisten, dengan warna yang dominan adalah biru tua dan hijau. Warna ini dipilih agar peserta didik tidak teralihkan perhatiannya oleh desain ketika menggunakan e-modul, tetapi tetap memberikan kesan menyenangkan secara visual. Adapun contoh tampilan visualisasi e-modul disajikan pada gambar 3:



Gambar 3. Tampilan Sampul Depan dan Isi E-modul

3.2. Kelayakan E-Modul

Proses validasi melibatkan dua dosen ahli dan satu guru kimia. Hal ini selaras dengan Lynn (1986) yang menyatakan bahwa diperlukan minimal tiga orang validator yang ahli sebagai penilai. Dosen ahli dan guru dilibatkan dalam proses validasi, yang bertujuan untuk memberikan masukan dari sudut pandang yang berbeda. Dosen ahli menilai dari sudut pandang akademik dan keilmuan, sedangkan guru menilai dari sudut pandang penggunaannya dalam lingkup kelas.

Validasi yang dilakukan mencakup validasi teks dan soal, dengan tujuan untuk memastikan bahwa e-modul memiliki kelayakan, baik dari segi isi maupun instrumen penilaiannya. Berkaitan dengan validasi teks, hal-hal yang divalidasi mengacu pada kelayakan yang ditetapkan oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (2007), dengan format yang disederhanakan. Beberapa hal yang divalidasi dalam teks meliputi kesesuaian konten dan konteks dengan tujuan pembelajaran, kesesuaian teks dengan konten dan konteks, ketepatan ilustrasi, gambar, dan tabel dengan teks, serta kelayakan kebahasaan dengan perkembangan

peserta didik. Poin-poin tersebut merupakan hasil penyederhanaan dan juga mengacu pada tahapan yang dilakukan peneliti dalam mengembangkan e-modul.

Kesesuaian konten dan konteks dengan tujuan pembelajaran selaras dengan aspek kelayakan isi, yang indikatornya mencakup kesesuaian materi dengan capaian pembelajaran, keakuratan materi, dan materi pendukung pembelajaran. Kesesuaian teks dengan konten dan konteks selaras dengan aspek kelayakan penyajian, yang indikatornya mencakup teknik penyajian (sistematika, kelogisan, keruntutan), pendukung penyajian, penyajian pembelajaran, dan kelengkapan penyajian. Ketepatan ilustrasi, gambar, dan tabel dengan teks berkaitan dengan aspek kelayakan penyajian dan kelayakan kegrafikan. Kelayakan kebahasaan dengan perkembangan peserta didik selaras dengan aspek kelayakan kebahasaan, dengan indikator yang mencakup kesesuaian dengan perkembangan peserta didik, komunikatif, dialogis dan interaktif, lugas, koherensi dan keruntutan, kesesuaian dengan kaidah bahasa, dan penggunaan istilah dan simbol yang tepat.

Adapun untuk validasi soal, fokus utamanya adalah kesesuaian pertanyaan dengan tujuan pembelajaran, kesesuaian pertanyaan dengan indikator kompetensi sains dan identitas sains, serta ketepatan rubrik jawaban untuk memastikan bahwa pertanyaan yang diberikan mendukung pencapaian yang diharapkan. Berdasarkan hal-hal tersebut, keterlibatan dosen ahli dan guru dalam melakukan validasi dengan format validasi yang sama, dapat memberikan masukan yang komprehensif untuk memastikan kualitas e-modul, baik secara teoritis maupun praktis. Hasil validasi teks dan soal ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Validasi Teks dan Soal

Aspek Validasi	Indikator yang Dinilai	Kesesuaian		
		V1	V2	V3
Validasi Teks	Kesesuaian konten dan konteks dengan tujuan pembelajaran	√	√	√
	Kesesuaian teks dengan konten dan konteks	√	√	√
	Ketepatan ilustrasi, gambar, dan tabel pada teks	√	√	√
	Kelayakan kebahasaan sesuai perkembangan peserta didik	√	√	√
Validasi Soal	Kesesuaian pertanyaan dengan indikator pembelajaran	√	√	√
	Kesesuaian pertanyaan dengan indikator kompetensi sains dan identitas sains OECD (2023)	√	√	√
	Ketepatan rubrik jawaban	√	√	√

Keterangan:

V : Validator

Hasil validasi menunjukkan bahwa e-modul yang dikembangkan telah memenuhi seluruh indikator penilaian, sehingga dinyatakan layak digunakan. Adapun beberapa saran perbaikan pada susunan kata dan kalimat agar lebih mudah dipahami oleh peserta didik serta untuk menghindari potensi kesalahpahaman. Revisi dilakukan sesuai dengan masukan validator, sehingga e-modul memenuhi aspek-aspek kelayakan yang telah ditetapkan. Contoh saran dari validator dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Contoh Saran Perbaikan

Sebelum Perbaikan	Setelah Perbaikan
Namun, di balik kelebihanannya, plastik menyimpan salah satu masalah besar, yaitu limbahnya yang sangat sulit diuraikan oleh Bumi.	Namun, di balik kelebihanannya, plastik menyimpan salah satu masalah besar, yaitu limbahnya yang sangat sulit diurai.

Keterangan:

Teks: Bagian yang dihapus

Perbaikan tersebut dilakukan karena berpotensi menimbulkan persepsi yang keliru. Seperti halnya yang dikemukakan Barnes *et al.* (2009), dalam kondisi tertentu, seperti ketika plastik mengalami gesekan fisik terus-menerus, plastik dapat terurai menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, atau dapat dikatakan terfragmentasi, menjadi potongan kecil yang dikenal sebagai mikroplastik. Oleh karena itu, bagian 'oleh bumi' dihapus agar tidak menimbulkan kesalahpahaman.

3.3. Profil Identitas Sains Peserta Didik

Profil identitas sains peserta didik dianalisis berdasarkan jawaban peserta didik pada soal-soal latihan yang dicantumkan di setiap subbagian materi. Pemilihan soal latihan sebagai dasar analisis ini dilakukan karena produk yang dikembangkan masih berada pada tahap awal, sehingga fokus utama terletak pada kekuatan isi modul yang mengarah pada potensinya dalam mengembangkan identitas sains. Berkaitan dengan hal tersebut, dalam hal ini soal latihan menjadi instrumen awal untuk mengidentifikasi dimensi identitas sains yang ingin dibentuk.

Analisis profil identitas sains peserta didik dilakukan dengan menyesuaikan jawaban peserta didik terhadap rubrik jawaban yang telah dirancang dan divalidasi sebelumnya. Instrumen yang digunakan berupa soal uraian, sehingga jawaban peserta didik tidak harus identik dengan rubrik jawaban karena setiap peserta didik memiliki cara tersendiri dalam menyampaikan gagasan atau pendapatnya (Putri *et al.*, 2022). Penilaian dilakukan dengan melihat kesamaan makna dan keterkaitan isi jawaban dengan indikator yang diukur, bukan hanya kesamaan frasa antara jawaban peserta didik dengan rubrik jawaban.

Dalam tahap analisis jawaban peserta didik, dilakukan juga proses triangulasi investigator. Dalam proses triangulasi investigator ini, pihak yang terlibat adalah peneliti 1, peneliti 2, dan peneliti 3. Proses ini bertujuan untuk memastikan ketepatan hasil analisis sesuai dengan indikator yang ingin dicapai serta dapat meminimalisir terjadinya ketidakobjektifan dan ketidakkonsistenan dalam analisis (Donkoh, 2023). Berdasarkan analisis di keseluruhan soal, diperoleh profil identitas sains seperti dalam Tabel 10.

Tabel 10. Profil Identitas Sains Peserta Didik

Dimensi Identitas Sains		Tinggi			Sedang			Rendah			●	◐	○
		PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PD6	PD7	PD8	PD9			
DIS1	IS1	◐	●	●	●	●	●	◐	●	●	7	2	0
	IS2	●	●	●	●	◐	●	○	●	●	7	1	1
	IS3	●	●	●	●	◐	●	●	◐	●	7	2	0
	IS4	◐	●	◐	●	◐	●	◐	◐	●	4	5	0
	IS5	●	●	●	●	●	●	●	●	●	9	0	0
	IS6	●	●	●	●	●	●	●	○	●	8	0	1
	IS7	●	●	●	●	●	●	◐	●	●	8	1	0
	IS8	●	●	●	●	●	●	○	●	●	8	0	1
DIS2	IS9	◐	●	◐	◐	●	◐	◐	◐	◐	2	7	0
	IS10	●	◐	●	◐	◐	●	◐	◐	◐	3	6	0
	IS11	●	●	●	●	●	●	●	●	●	9	0	0
	IS12	●	●	●	●	●	●	●	●	●	9	0	0
	IS13	●	○	●	●	●	●	○	○	●	6	0	3
	IS14	○	○	●	●	○	●	○	◐	●	4	1	4
	IS15	●	●	●	●	●	●	○	●	●	8	0	1

Dimensi Identitas Sains		Tinggi			Sedang			Rendah			●	◐	○
		PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PD6	PD7	PD8	PD9			
DIS3	IS16	◐	●	●	●	●	●	○	◐	◐	5	3	1
	IS17	●	●	●	●	●	●	◐	◐	●	7	2	0
	IS18	●	●	●	●	●	●	●	◐	●	8	1	0
	IS19	●	●	●	●	●	●	○	◐	●	7	1	1
	IS20	○	○	●	●	○	●	○	○	○	3	0	6
	IS21	●	◐	●	●	●	●	○	◐	●	6	2	1
●		15	16	19	19	15	20	6	8	17			
◐		4	2	2	2	4	1	6	10	3			
○		2	3	0	0	2	0	9	3	1			

Keterangan:

PD : Peserta Didik

DIS: Dimensi Identitas Sains

IS : Indikator Identitas Sains

● : Tercapai

◐ : Tercapai Sebagian

○ : Belum tercapai

Berdasarkan hasil tersebut, diperoleh bahwa secara umum identitas sains cenderung dapat dikembangkan dengan baik, meskipun dengan capaian yang sangat beragam. Dimensi identitas sains pertama, yang mengacu pada dimensi identitas sains menurut OECD (2023), yaitu menghargai sudut pandang dan pendekatan ilmiah, merupakan dimensi yang paling banyak dicapai oleh peserta didik. Hal ini terlihat dari dominasi capaian pada kategori tercapai di sebagian besar indikator dalam dimensi ini. Artinya, peserta didik sudah mulai menunjukkan pemahaman dan sikap positif terhadap pendekatan ilmiah sebagai bagian dari cara mereka melihat dan memaknai berbagai persoalan dalam kehidupan.

Pada dimensi kedua, yang mengacu pada dimensi identitas sains menurut OECD (2023), yaitu aspek afektif dalam identitas sains, menunjukkan adanya variasi capaian yang lebih besar. Sebagian peserta didik menunjukkan dominasi capaian pada kategori tercapai di beberapa indikator, tetapi beberapa di antaranya menunjukkan capaian pada kategori tercapai sebagian dengan selisih yang cukup tinggi dibandingkan dengan kategori tercapai. Hal ini menunjukkan bahwa aspek afektif dalam identitas sains, seperti minat dan keterlibatan terhadap sains, masih memerlukan penguatan lebih lanjut melalui penyesuaian.

Adapun pada dimensi ketiga, yang mengacu pada dimensi identitas sains menurut OECD (2023), yaitu kesadaran, kepedulian, serta peran aktif terhadap lingkungan, menunjukkan capaian yang lebih baik jika dibandingkan dengan dimensi identitas sains kedua, meskipun belum sekuat dimensi identitas sains pertama. Hal ini ditunjukkan juga oleh dominasi capaian pada kategori tercapai di sebagian besar indikator dalam dimensi ini. Namun, pada dimensi identitas sains ketiga ini diperoleh adanya indikator yang capaiannya didominasi pada kategori belum tercapai, yang berarti diperlukan juga adanya penyesuaian kembali.

Jika dilihat berdasarkan kelompok kemampuan kimia peserta didik, diperoleh bahwa pada kelompok tinggi dan sedang ketercapaian indikator-indikator didominasi oleh kategori tercapai, sedangkan pada kelompok rendah, dua di antaranya menunjukkan capaian yang didominasi oleh tercapai sebagian dan belum tercapai. Sesuai dengan analisis yang dilakukan pada setiap soal, diperlukan adanya beberapa penyesuaian kembali untuk mengembangkan identitas sains secara optimal di semua kelompok kemampuan.

Meskipun demikian, dominasi capaian pada kategori tercapai menunjukkan bahwa identitas sains mampu dikembangkan melalui penggunaan e-modul yang telah dikembangkan.

Perbedaan capaian juga merupakan hal yang wajar, sejalan dengan yang dikemukakan oleh Vamvakas *et al.* (2023) bahwa identitas sains terbentuk melalui proses panjang yang melibatkan beberapa faktor lain, seperti lingkungan yang dapat membangun kebiasaan sehingga mudah untuk mencapai identitas sains. Selain itu, hal ini juga sejalan dengan yang dikemukakan oleh Fife *et al.* (2020) bahwa jika dilihat dari perspektif pembelajaran, tidak selalu semua peserta didik harus mencapai indikator dalam satu kesempatan, sehingga variasi capaian ini dapat diterima sebagai bagian dari proses belajar yang alami pada peserta didik.

Berdasarkan hasil analisis jawaban juga diperoleh bahwa identitas sains tidak hanya berhenti pada sikap dan pernyataan saja, melainkan berkaitan dengan ketercapaian kompetensi sains yang menjadi acuan dalam pembelajaran sains seperti halnya pada kerangka sains menurut OECD (2023). Pada e-modul yang dikembangkan, kompetensi sains yang berkembang di antaranya mengingat dan menerapkan pengetahuan ilmiah yang sesuai, menggunakan berbagai bentuk representasi data dan menerjemahkannya, mengenali fenomena di dunia, serta membenarkan keputusan dengan argumen ilmiah, baik individu maupun kelompok, yang berkontribusi pada penyelesaian isu-isu kontemporer atau pembangunan berkelanjutan.

4. SIMPULAN

Desain pengembangan e-modul berbasis ESD pada topik pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif dilakukan dengan mengacu pada indikator identitas sains dan aspek-aspek ESD. Penyusunannya dilakukan secara sistematis dengan memperhatikan kelayakan isi, penyajian, kebahasaan, dan kegrafikan untuk mendukung pembelajaran kontekstual yang dekat dengan kehidupan sehari-hari. Hasil validasi para ahli menunjukkan bahwa e-modul ini layak digunakan, relevan, dan mendukung pengembangan identitas sains peserta didik, meskipun masih terdapat beberapa saran teknis untuk penyempurnaan. Penggunaan e-modul juga menunjukkan perkembangan positif pada profil identitas sains peserta didik, yang tercermin tidak hanya dari sikap dan pernyataan, tetapi juga dari ketercapaian kompetensi sains. Meskipun demikian, penguatan lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan ketercapaian seluruh indikator identitas sains.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia, serta dosen pembimbing yang telah memberikan fasilitas, bimbingan, dukungan, ilmu, dan kesempatan dalam melakukan penelitian hingga selesai.

6. REFERENSI

- Alimuddin, A., Niaga Siman Juntak, J., Ayu Erni Jusnita, R., Murniawaty, I., & Yunita Wono, H. (2023). Teknologi dalam Pendidikan: Membantu Siswa Beradaptasi dengan Revolusi Industri 4.0. *Journal on Education*, 05(04), 36–38.
- Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and Fragmentation of Plastic Debris in Global Environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1985–1998.
- Badan Standar Nasional Pendidikan. (2007). Kegiatan Penilaian Buku Teks Pelajaran Pendidikan Dasar dan Menengah. *Buletin BNSP*, 14–23.
- Childers, G., & Jones, M. G. (2017). Learning From a Distance: High School Students'

- Perceptions of Virtual Presence, Motivation, and Science Identity During A Remote Microscopy Investigation. *International Journal of Science Education*, 39(3), 257–273.
- Donkoh, S. (2023). Application of Triangulation in Qualitative Research. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering*, 10(1), 6–9.
- ESDM. (2024). *Handbook Of Energy and Economic Statistics of Indonesia 2023*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Fife, J. H., James, K., & Peters, S. (2020). A Learning Progression for Variability. *ETS Research Report Series*, 2020(1), 1–22.
- Fuadi, H., Robia, A. Z., Jamaluddin, & Jufri, A. W. (2020). Analisis Faktor Penyebab Rendahnya Kemampuan Literasi Sains Peserta Didik. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 5(2), 108–116.
- Gianto, D., Kesuma, A., Anggaraena, Y., & Setyowati, D. (2024). *Panduan Pembelajaran Dan Asesmen Pendidikan Anak Usia Dini, Pendidikan Dasar, Dan Pendidikan Menengah*. Kemendikbudristek.
- Hariram, N. P., Mekha, K. B., Suganthan, V., & Sudhakar, K. (2023). Sustainalism: An Integrated Socio-Economic-Environmental Model to Address Sustainable Development and Sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, 15(13).
- Hayat, B., & Yusuf, S. (2010). Benchmark International Mutu Pendidikan. Bumi Aksara.
- Hoffmann, T., & Siege, H. (2018). What Is Education for Sustainable Development (ESD)? *Human Development*, 1(8), 1–6.
- Jariyanti, Tahir, R. Bin, & Sajaruddin. (2022). Pemanfaatan Limbah Plastik Botol Bekas Sebagai Bahan Bakar Alternatif Energi Terbarukan. *Jurnal Ilmiah Teknik Informatika Dan Komunikasi*, 1.
- KEMENDIKBUDRISTEK. (2024). Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, Dan Asesmen Pendidikan Nomor 032/H/Kr/2024 Tentang Capaian Pembelajaran Pada Pendidikan Anak Usia Dini, Jenjang Pendidikan Dasar, Dan Jenjang Pendidikan Menengah Pada Kurikulum Merdeka.
- Lastri, Y. (2023). Pengembangan dan Pemanfaatan Bahan Ajar E-modul dalam Proses Pembelajaran. *Jurnal Citra Pendidikan*, 3(3), 1139–1146.
- Lynn, M. R. (1986). Determination And Quantification of Content Validity. *Nursing Research*, 35(6), 382–385.
- OECD. (2023). PISA 2025 Science Framework (Draft). OECD Publishing.
- Puspaningsih, A. R., Tjahjardarmawan, E., & Krisdianti, N. R. (2021). Ilmu Pengetahuan Alam SMA Kelas X. Pusat Kurikulum dan Perbukuan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.
- Putri, H., Susiani, D., Wandani, N. S., Fia, &, & Putri, A. (2022). Instrumen Penilaian Hasil Pembelajaran Kognitif Pada Tes Uraian Dan Tes Objektif. *Jurnal Papeda*, 4(2).
- Regina, A. D. (2018). *Pedagogi Dan Analisis Tujuan Pembelajaran: Pendekatan Konstruktivisme*. Jakarta: Pustaka Mandiri.
- Richey, R. C., & Klein, J. D. (2014). *Design And Development Research*. Routledge.
- 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).
- Shein, P. P., Falk, J. H., & Li, Y. Y. (2019). The Role of Science Identity in Science Center Visits and Effects. *Science Education*, 103(6).

- Sidiq, R., & Najuah. (2020). Pengembangan E-Modul Interaktif Berbasis Android Pada Mata Kuliah Strategi Belajar Mengajar. *Jurnal Pendidikan Sejarah*, 9(1), 1–14.
- SIPSN. (2025). Capaian Kinerja Pengelolaan Sampah. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>.
- Subayuni, N. W., & Nugroho, A. S. (2018). Pengembangan Modul Berbasis Budaya Lokal Untuk Meningkatkan Literasi Sains Dan Mereduksi Miskonsepsi Sains Mahasiswa Calon Guru SD. *JTIEE*, 2(2).
- Supanto, Ferdiansyah, A. A., Alkindi, H., & Yuliaji, D. (2021). Analisis Perpindahan Panas Proses Pirolisis Sampah Plastik. *Jurnal Almikanika*, 3(2).
- UNESCO. (2018). Integrating ESD In Teacher Education in South-East Asia: A Guide for Teacher Educators.
- Utami, Imania, & Ningrum. (2020). Proses Pengolahan Sampah Plastik Di UD Nialdho Plastik Kota Madiun. *Indonesian Journal of Conservation*, 9(2), 89–95.
- 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.