

RANCANG BANGUN E-BOOK FISIKA BERBASIS EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (ESD) BERORIENTASI KOMPETENSI SAINS PADA MATERI PEMANASAN GLOBAL

Felicia Amanda Putri¹, Winny Liliawati², Dedi Sasmita³

Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung 40154, Indonesia ^{1,2,3}

Email: winny@upi.edu

Informasi	Abstract
Volume : 3 Nomor : 1 Bulan : Januari Tahun : 2026 E-ISSN : 3062-9624	<p><i>Scientific competence is an essential ability required of students to understand scientific phenomena, interpret science-based information, and apply it in decision-making in everyday life, particularly in the context of global issues such as climate change. However, various international studies, including the Programme for International Student Assessment (PISA), indicate that the level of scientific competence among Indonesian students remains relatively low. One contributing factor to this condition is the limited availability of contextual learning materials that are not yet integrated with sustainability issues. This study aims to develop a physics e-book based on Education for Sustainable Development (ESD), designed to support the enhancement of scientific competence on the topic of global warming. The study employs a Research and Development (R&D) method, which includes stages of needs analysis, product design, development, and limited trials. The feasibility of the e-book was evaluated through validation by subject-matter experts, media experts, and educational practitioners, while students' responses were collected using questionnaires. The improvement in scientific competence was analyzed by comparing pretest and posttest results using N-gain calculations. The results indicate that the developed e-book meets feasibility criteria and receives positive responses from students. The e-book presents global warming material in a more systematic, contextual, and real world relevant manner. Therefore, the ESD-based physics e-book has the potential to be used as an alternative learning resource to support the development of students' scientific competence.</i></p> <p>Keyword: physics e-book; education for sustainable development; scientific competence; global warming.</p>

Abstrak

Kompetensi sains merupakan kemampuan esensial yang diperlukan peserta didik untuk memahami fenomena ilmiah, menafsirkan informasi berbasis sains, serta menerapkannya dalam pengambilan keputusan pada kehidupan sehari-hari, terutama dalam konteks permasalahan global seperti pemanasan global. Namun demikian, berbagai hasil studi internasional, termasuk Programme for International Student Assessment (PISA), menunjukkan bahwa tingkat kompetensi sains peserta didik di Indonesia masih rendah. Salah satu penyebab kondisi tersebut adalah keterbatasan bahan ajar yang bersifat kontekstual dan belum terintegrasi dengan isu keberlanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan e-book fisika berbasis Education for Sustainable Development (ESD) yang dirancang untuk mendukung penguatan kompetensi sains pada materi pemanasan global. Penelitian menggunakan metode Research and Development (R&D) yang mencakup tahapan analisis kebutuhan, perancangan produk, pengembangan, dan uji coba terbatas. Kelayakan e-book dievaluasi melalui validasi oleh ahli materi, ahli media, dan praktisi pendidikan, sedangkan tanggapan peserta didik dikumpulkan menggunakan angket. Peningkatan kompetensi sains dianalisis berdasarkan

perbandingan hasil pretest dan posttest menggunakan perhitungan N-gain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa e-book yang dikembangkan memenuhi kriteria kelayakan dan memperoleh respons positif dari peserta didik. E-book ini mampu menyajikan materi pemanasan global secara lebih sistematis, kontekstual, dan relevan dengan permasalahan nyata. Oleh karena itu, e-book fisika berbasis ESD berpotensi digunakan sebagai alternatif sumber belajar untuk mendukung pengembangan kompetensi sains peserta didik.

Kata Kunci: e-book fisika; education for sustainable development; kompetensi sains; pemanasan global.

A. PENDAHULUAN

Kompetensi sains Adalah kemampuan peserta didik dalam memanfaatkan pengetahuan ilmiah untuk memahami dan menjelaskan fenomena alam, menilai proses penyelidikan ilmiah, serta menginterpretasikan data dan bukti secara rasional. Kompetensi ini tidak hanya berkaitan dengan penguasaan konsep, tetapi juga mencakup keterampilan berpikir kritis dan kemampuan mengambil keputusan berbasis sains dalam berbagai situasi kehidupan (Pertiwi et al., 2018; Khery et al., 2020). Pada tataran internasional, capaian kompetensi sains peserta didik melalui *Programme for International Student Assessment* (PISA) menunjukkan bahwa performa literasi sains peserta didik Indonesia masih berada di bawah rata-rata negara OECD dan belum mengalami peningkatan yang berarti dalam beberapa siklus penilaian terakhir (OECD, 2020). Kondisi ini mengindikasikan bahwa kemampuan peserta didik dalam menerapkan konsep sains pada konteks nyata masih terbatas. Berbagai kajian mengungkapkan bahwa rendahnya kompetensi sains dipengaruhi oleh pola pembelajaran yang cenderung berpusat pada guru, minimnya aktivitas inkuiri, serta keterbatasan bahan ajar yang kontekstual dan relevan dengan perkembangan isu global (Bagus et al., 2022).

Pendekatan *Education for Sustainable Development* (ESD) dipandang sebagai salah satu alternatif yang potensial untuk menjawab permasalahan tersebut. ESD berfokus pada pengembangan pengetahuan, keterampilan, dan sikap yang mendukung keberlanjutan lingkungan, sosial, dan ekonomi. Integrasi ESD dalam pembelajaran sains memberikan ruang bagi peserta didik untuk mengaitkan konsep ilmiah dengan permasalahan global, seperti pemanasan global, sehingga proses pembelajaran tidak hanya bersifat konseptual, tetapi juga aplikatif dan bermakna (Agusti et al., 2019; Misriani et al., 2023). Hasil observasi dan wawancara awal di sekolah menunjukkan bahwa pembelajaran materi pemanasan global masih didominasi oleh penggunaan buku teks cetak dengan contoh yang kurang aktual serta aktivitas belajar yang relatif pasif. Situasi ini berdampak pada rendahnya keterlibatan peserta didik dalam menelaah dan menganalisis isu pemanasan global secara ilmiah. Oleh karena itu,

diperlukan pengembangan sumber belajar inovatif yang mampu menyajikan materi secara kontekstual serta mendukung penguatan kompetensi sains. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan e-book fisika berbasis *Education for Sustainable Development* yang berorientasi pada kompetensi sains pada materi pemanasan global, serta menilai kelayakan dan respons peserta didik terhadap e-book yang dikembangkan.

TINJAUAN PUSTAKA

E-Book sebagai Media Pembelajaran

E-book merupakan salah satu bentuk bahan ajar digital yang dapat diakses melalui berbagai perangkat elektronik dan mendukung fleksibilitas dalam proses pembelajaran. Sebagai media pembelajaran, e-book memungkinkan integrasi berbagai bentuk representasi, seperti teks, ilustrasi, dan visual pendukung, sehingga penyampaian konsep menjadi lebih variatif dan mudah dipahami. Dalam pembelajaran sains, penggunaan e-book dinilai mampu meningkatkan pemahaman peserta didik karena informasi disajikan secara lebih terstruktur dan menarik dibandingkan bahan ajar konvensional (Prameswari et al., 2022; Utami & Retnantiti, 2022). Selain itu, karakteristik e-book yang mudah diakses kapan saja dan di mana saja mendukung pembelajaran mandiri serta mengurangi ketergantungan peserta didik pada sumber belajar cetak.

Education for Sustainable Development (ESD) dalam Pembelajaran Sains

Education for Sustainable Development (ESD) merupakan pendekatan pendidikan yang berorientasi pada penguatan pengetahuan, keterampilan, dan sikap peserta didik dalam mendukung keberlanjutan lingkungan, sosial, dan ekonomi. Dalam pembelajaran sains, ESD memfasilitasi keterkaitan antara konsep ilmiah dengan permasalahan global yang relevan, seperti perubahan iklim dan pemanasan global. Pendekatan ini mendorong peserta didik untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan sistematis dalam memahami serta merespons isu lingkungan secara berbasis sains (Khoerunisa, 2024). Penerapan ESD dalam pembelajaran sains juga terbukti mampu menumbuhkan kesadaran serta sikap pro-lingkungan melalui pengalaman belajar yang kontekstual dan bermakna (Limiansih et al., 2024).

Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pengembangan bahan ajar digital, termasuk e-book berbasis ESD, berpotensi meningkatkan literasi sains dan keterampilan berpikir tingkat tinggi peserta didik (Rafidah & Rachmadiarti, 2022; Pratiwi, 2021). Studi lain menegaskan bahwa pengintegrasian ESD dengan konteks lokal dan isu lingkungan aktual dapat memperkuat pemahaman konsep ilmiah sekaligus meningkatkan kepedulian terhadap

keberlanjutan (Pratiwi & Widowati, 2024; Kamila et al., 2025). Meskipun demikian, kajian yang secara spesifik mengembangkan e-book fisika berbasis ESD dengan orientasi kompetensi sains sesuai kerangka PISA pada materi pemanasan global masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk mengisi celah tersebut melalui pengembangan e-book fisika yang dirancang secara sistematis guna melatih kompetensi sains peserta didik dalam konteks pemanasan global.

B. METODE PENELITIAN

Jenis dan Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode *Research and Development* (R&D) yang difokuskan pada pengembangan serta pengujian kelayakan dan efektivitas produk pembelajaran. Produk yang dihasilkan berupa e-book fisika berbasis *Education for Sustainable Development* (ESD) yang dirancang untuk mendukung penguatan kompetensi sains pada materi pemanasan global. Selain menghasilkan produk yang layak digunakan, penelitian ini juga menganalisis peningkatan kompetensi sains peserta didik setelah pemanfaatan e-book melalui pengukuran hasil belajar sebelum dan sesudah pembelajaran (Sugiyono, 2013).

Desain Penelitian

Rancang bangun e-book dalam penelitian ini mengacu pada model ADDIE yang terdiri atas tahap analisis, perancangan, pengembangan, implementasi, dan evaluasi (Branch, 2009). Pada tahap implementasi, dilakukan uji coba terbatas menggunakan desain satu kelompok pretest-posttest untuk mengidentifikasi perubahan kompetensi sains peserta didik sebelum dan sesudah pembelajaran menggunakan e-book. Pemilihan desain ini didasarkan pada pertimbangannya yang sesuai untuk mengevaluasi dampak awal penggunaan produk hasil pengembangan terhadap hasil belajar peserta didik.

Subjek Penelitian

Subjek penelitian melibatkan validator ahli, praktisi pendidikan, dan peserta didik. Validator terdiri atas dosen pendidikan fisika dan guru fisika SMA yang berperan dalam menilai kelayakan e-book dari aspek substansi, media, dan kebahasaan. Subjek uji coba produk adalah peserta didik kelas XI SMA di Kabupaten Sukabumi yang mengikuti pembelajaran menggunakan e-book yang dikembangkan serta mengerjakan pretest dan posttest untuk mengukur peningkatan kompetensi sains.

Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi lembar validasi e-book, tes

pretest dan posttest kompetensi sains, tes uji rumpang, serta angket respon peserta didik. Instrumen tes disusun berdasarkan indikator kompetensi sains yang mencakup kemampuan menjelaskan fenomena ilmiah, mengevaluasi dan merancang penyelidikan ilmiah, serta menafsirkan data dan bukti ilmiah. Lembar validasi digunakan untuk menilai kelayakan produk, uji rumpang untuk mengukur tingkat keterpahaman isi e-book, sedangkan angket respon digunakan untuk memperoleh gambaran persepsi peserta didik terhadap e-book yang dikembangkan.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilaksanakan mengikuti tahapan model ADDIE. Tahap analisis dilakukan melalui wawancara dan observasi untuk mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran, karakteristik peserta didik, serta kondisi bahan ajar pada materi pemanasan global. Tahap desain mencakup perancangan struktur materi, integrasi kompetensi sains dan nilai-nilai ESD, serta perencanaan tampilan e-book. Tahap pengembangan dilakukan dengan menyusun e-book digital yang kemudian divalidasi oleh para ahli dan direvisi berdasarkan masukan yang diberikan. Tahap implementasi dilaksanakan melalui kegiatan pembelajaran menggunakan e-book, yang diawali dengan pemberian pretest dan diakhiri dengan posttest. Tahap evaluasi dilakukan dengan menganalisis hasil validasi, peningkatan hasil belajar, keterbacaan, serta respon peserta didik untuk menilai kualitas dan efektivitas awal e-book.

Teknik Analisis Data

Data hasil validasi e-book dianalisis menggunakan koefisien Aiken's V untuk menentukan tingkat validitas isi berdasarkan penilaian para ahli (Aiken, 1985; Retnawati, 2016). Peningkatan kompetensi sains peserta didik dianalisis menggunakan skor N-gain yang diperoleh dari perbandingan nilai pretest dan posttest, kemudian diklasifikasikan ke dalam kategori rendah, sedang, dan tinggi. Data hasil uji rumpang dan angket respon peserta didik dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan tingkat keterpahaman dan penerimaan peserta didik terhadap e-book yang dikembangkan.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi dilakukan terhadap e-book fisika berbasis *Education for Sustainable Development* (ESD) yang dikembangkan sebagai produk penelitian pada materi pemanasan global. Proses penilaian melibatkan tujuh validator yang terdiri atas tiga dosen pendidikan fisika dan empat guru fisika SMA sebagai praktisi pembelajaran. Penilaian diarahkan untuk menilai kelayakan produk dari lima aspek utama, yaitu rekayasa perangkat lunak, komunikasi

visual, substansi materi, kebahasaan, serta legalitas dan norma. Hasil validasi pada masing-masing aspek disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Validasi Ahli dan Praktisi

Aspek Penilaian	Rata-rata V Aiken Ahli	Kategori	Rata-rata V Aiken Praktisi	Kategori
Substansi Isi (Ahli Materi)	0,64	Sedang (Layak dengan Revisi)	1,00	Tinggi (Sangat Layak)
Rekayasa Perangkat Lunak	0,62	Sedang (Layak dengan Revisi)	1,00	Tinggi (Sangat Layak)
Komunikasi Visual	0,63	Sedang (Layak dengan Revisi)	1,00	Tinggi (Sangat Layak)
Kebahasaan	0,70	Sedang-Tinggi (Layak)	1,00	Tinggi (Sangat Layak)
Legalitas dan Publikasi	0,65	Sedang (Layak dengan Revisi)	1,00	Tinggi (Sangat Layak)
Rata-rata Keseluruhan	0,65	Sedang (Layak dengan Revisi)	1,00	Tinggi (Layak tanpa Revisi)

Hasil validasi menunjukkan adanya perbedaan tingkat kelayakan antara penilaian validator ahli dan praktisi. Rata-rata nilai V Aiken dari ahli berada pada kategori sedang (layak dengan revisi), sedangkan penilaian praktisi menunjukkan kategori tinggi (sangat layak) pada seluruh aspek. Perbedaan ini mencerminkan variasi fokus penilaian, di mana ahli lebih menekankan ketepatan konsep dan kesesuaian teoritis, sementara praktisi lebih berorientasi pada keterterapan produk dalam pembelajaran nyata. Kategori sedang pada validasi ahli dapat dijelaskan melalui konsep validitas isi (*content validity*), yang menekankan keselarasan antara tujuan pembelajaran, materi, indikator, dan evaluasi. validator ahli cenderung memberikan penilaian yang lebih kritis terhadap substansi isi, kebahasaan, serta kualitas desain pembelajaran digital guna memastikan kesesuaian produk dengan standar akademik dan prinsip keilmuan (Aiken, 1985; Dick & Carey, 2009). Oleh karena itu, kategori “layak dengan revisi” tidak menunjukkan kelemahan produk, melainkan menjadi bagian dari proses penyempurnaan e-book agar memiliki kualitas konseptual dan teknis yang lebih optimal.

Sebaliknya, penilaian praktisi yang berada pada kategori sangat layak menunjukkan bahwa e-book dinilai mudah digunakan, sesuai dengan karakteristik peserta didik, serta efektif diterapkan dalam konteks pembelajaran fisika SMA. Penilaian ini sejalan dengan pandangan Borg dan Gall yang menyatakan bahwa praktisi dalam penelitian pengembangan lebih menekankan aspek fungsional dan kebermanfaatan produk di lapangan (Borg & Gall, 2003). Secara keseluruhan, hasil validasi menegaskan bahwa e-book fisika berbasis *Education*

for Sustainable Development (ESD) telah memenuhi kelayakan baik secara konseptual maupun praktis, sehingga layak digunakan sebagai bahan ajar pendukung dalam pembelajaran fisika.

Instrumen uji rumpang terdiri atas 30 butir soal dan diujikan kepada 30 peserta didik kelas XI di salah satu SMA negeri di Kabupaten Sukabumi yang telah mempelajari materi yang relevan dengan isi e-book. Mengingat keterbatasan waktu dan luasnya cakupan materi, pelaksanaan uji dibagi berdasarkan bab dalam e-book, sehingga setiap bab dikerjakan oleh sekitar sepuluh peserta didik. Uji rumpang dikerjakan secara langsung pada lembar jawaban yang telah disediakan. Rekapitulasi hasil uji rumpang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Keterbacaan (Uji Rumpang)

BAB	Skor	Kriteria keterbacaan	Interpretasi
Fenomena Pemanasan Global	61%	Tinggi	<i>Independent level</i>
Rumah Kaca	62%	Tinggi	<i>Independent level</i>
Dampak Pemanasan Global: Dari Kutub Hingga Pesisir	61%	Tinggi	<i>Independent level</i>

Hasil uji keterbacaan menunjukkan bahwa seluruh bab materi, yaitu *Fenomena Pemanasan Global*, *Rumah Kaca*, dan *Dampak Pemanasan Global: Dari Kutub Hingga Pesisir*, berada pada kategori keterbacaan tinggi dengan interpretasi *independent level*. Temuan ini mengindikasikan bahwa peserta didik mampu memahami isi e-book secara mandiri tanpa memerlukan pendampingan intensif. Tingginya skor keterbacaan menunjukkan bahwa struktur kalimat, pilihan kosakata, serta penyajian bahasa dalam e-book telah disesuaikan dengan kemampuan literasi peserta didik SMA.

Secara teoretis, keterbacaan teks berperan penting dalam efektivitas bahan ajar karena berkaitan langsung dengan pemahaman dan motivasi belajar peserta didik. Teks yang disusun secara sistematis, menggunakan bahasa yang jelas, dan didukung tata letak yang baik akan lebih mudah dipahami sehingga membantu peserta didik mempelajari konsep secara bertahap (Maryani, 2024). Sejalan dengan temuan penelitian sebelumnya, keterbacaan yang sesuai dengan tingkat pendidikan juga berkorelasi positif dengan kemudahan memahami konsep ilmiah pada materi yang bersifat kompleks (Shela Sonia & Yuliani, 2023). Dengan demikian, hasil uji keterbacaan ini memperkuat bahwa e-book fisika berbasis *Education for*

Sustainable Development (ESD) telah dirancang secara efektif untuk mendukung pembelajaran mandiri dan literasi digital peserta didik SMA.

Peningkatan kompetensi sains dianalisis melalui desain pretest-posttest dengan menggunakan 12 butir soal yang diberikan kepada 72 peserta didik kelas XI di salah satu SMA negeri di Kabupaten Sukabumi. Pretest berfungsi untuk mengidentifikasi kemampuan awal peserta didik dalam memahami konsep, menjelaskan fenomena ilmiah, serta menafsirkan informasi ilmiah. Selanjutnya, posttest digunakan untuk mengetahui perubahan capaian kompetensi sains setelah peserta didik mengikuti pembelajaran menggunakan e-book fisika berbasis *Education for Sustainable Development* (ESD). Hasil perbandingan antara pretest dan posttest menunjukkan adanya peningkatan kompetensi sains peserta didik setelah proses pembelajaran.

Peningkatan tersebut mengindikasikan bahwa e-book yang dikembangkan memberikan kontribusi positif terhadap penguatan kompetensi sains, khususnya dalam memahami fenomena pemanasan global yang dikaitkan dengan konteks keberlanjutan. Integrasi prinsip ESD dalam penyajian materi membantu peserta didik membangun pemahaman konseptual secara lebih terstruktur, sekaligus meningkatkan kemampuan mereka dalam menafsirkan informasi ilmiah secara sistematis dan kontekstual.

Tabel 3. Hasil N-Gain Kelas XI

Kelas	Pretest			Posttest			N-Gain		Standar Deviasi		
	Min	Max	\bar{x}	Min	Max	\bar{x}	Tinggi	Sedang	Rendah	Pre	Pro
XI-A1	50	83	69,6	75	92	80,2	1	8	5	10,59	5,24
XI-C1	25	83	57	67	100	80,6	4	7	5	15,42	10,25
XI-C2	33	75	34,12	67	100	78,68	11	5	0	11,36	10,41

Respons peserta didik terhadap e-book dianalisis melalui angket untuk menilai penerimaan dan kualitas produk sekaligus mengidentifikasi aspek yang perlu disempurnakan. Angket mencakup aspek penyajian bahan ajar, penggunaan bahasa, kesesuaian materi, daya tarik dan motivasi belajar, serta kemudahan akses dan interaktivitas. Instrumen ini diberikan setelah peserta didik mengikuti pembelajaran menggunakan e-book, dan rekapitulasi hasilnya disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Angket Respon Peserta Didik

Aspek	Pernyataan	Respon peserta didik	Kriteria
Penyajian	Tampilan e-book menarik dan nyaman	61,11	Baik

Aspek	Pernyataan	Respon peserta didik	Kriteria
Bahan Ajar	dilihat.		
	Tata letak materi (<i>layout</i>) memudahkan saya memahami isi e-book.	60,18	Baik
	Navigasi e-book mudah digunakan.	60,18	Baik
Rata-rata		60,49	Baik
Penulisan & Bahasa	Bahasa yang digunakan mudah dipahami.	62,73	Baik
	Ukuran dan jenis huruf nyaman dibaca.	60,18	Baik
	Penjelasan materi tersusun rapi dan sistematis.	61,11	Baik
Rata-rata		61,34	Baik
Kesesuaian Materi	Materi sesuai dengan topik pembelajaran.	63,73	Baik
	Contoh yang diberikan relevan dengan kehidupan sehari-hari.	61,34	Baik
	Materi mendukung pemahaman konsep secara bertahap.	60,18	Baik
Rata-rata		61,75	Baik
Daya Tarik & Motivasi	E-book membuat saya lebih tertarik mempelajari materi.	60,18	Baik
	Ilustrasi/gambar/video dalam e-book membantu saya memahami materi.	60,18	Baik
	Format e-book membuat pembelajaran lebih menyenangkan.	60,64	Baik
Rata-rata		60,33	Baik
Kemudahan Akses & Interaktivitas	E-book mudah diakses melalui berbagai perangkat.	60,88	Baik
	Fitur interaktif dalam e-book berfungsi dengan baik.	60,18	Baik
	E-book membuat saya aktif berinteraksi dengan materi.	60,18	Baik
Rata-rata		60,41	Baik

Berdasarkan Tabel 4, seluruh aspek penilaian angket memperoleh rata-rata skor 60,18–63,73, yang termasuk kategori “Baik”. Temuan ini menunjukkan bahwa peserta didik menilai e-book fisika berbasis *Education for Sustainable Development* (ESD) layak digunakan sebagai media pembelajaran, baik dari segi penyajian materi, bahasa, kesesuaian konten, daya tarik, maupun interaktivitas. Pada aspek penyajian bahan ajar, skor tinggi pada indikator tampilan, tata letak, dan navigasi menunjukkan bahwa desain visual dan struktur layout mendukung pemahaman peserta didik, sejalan dengan teori *cognitive load* dan *multimedia learning* yang menekankan penyajian materi yang terstruktur dan konsisten secara visual untuk mengurangi beban kognitif (Mayer, 2021). Aspek bahasa dan penulisan juga memperoleh skor baik, menunjukkan teks mudah dipahami dan tersusun rapi, mendukung literasi sains serta keterbacaan materi (Shela Sonia & Yuliani, 2023).

Aspek kesesuaian materi memperoleh skor tertinggi (rata-rata 61,75), terutama pada relevansi konten dan contoh kehidupan nyata, sesuai prinsip *contextual teaching and learning* (CTL) yang meningkatkan motivasi dan pemahaman konsep (Putri & Wiarta, 2024). Daya tarik, motivasi, serta kemudahan akses dan interaktivitas juga mendapat skor baik, menandakan bahwa e-book mendorong keterlibatan aktif peserta didik dan meningkatkan literasi digital (Setyawan et al., 2024). Secara keseluruhan, hasil angket memperkuat temuan uji keterbacaan dan analisis pretest-posttest N-Gain, menegaskan bahwa e-book fisika berbasis ESD efektif sebagai media pembelajaran SMA yang mendukung pemahaman konsep, motivasi, dan literasi digital siswa.

PEMBAHASAN

Validasi e-book fisika berbasis *Education for Sustainable Development* (ESD) menunjukkan adanya perbedaan penilaian antara ahli materi dan praktisi. Penilaian ahli berada pada kategori layak dengan revisi, yang menandakan bahwa beberapa aspek substansi, seperti ketepatan konsep, kesesuaian materi dengan tujuan pembelajaran, dan kualitas kebahasaan, masih memerlukan penyempurnaan. Penilaian ini menunjukkan perhatian pada aspek akademik dan keilmuan, memastikan bahwa produk memiliki keselarasan antara tujuan pembelajaran, indikator, dan evaluasi. Sebaliknya, praktisi menilai seluruh aspek e-book pada kategori sangat layak, menekankan kemudahan penggunaan, kesesuaian karakteristik peserta didik, serta efektivitas implementasi di kelas. Perbedaan ini mencerminkan orientasi penilaian yang berbeda; ahli menitikberatkan pada kualitas konseptual, sementara praktisi fokus pada aspek fungsional dan penerapan nyata.

Hasil uji keterbacaan menunjukkan seluruh bab materi Fenomena Pemanasan Global, Rumah Kaca, dan Dampak Pemanasan Global: Dari Kutub Hingga Pesisir berada pada kategori tinggi dengan kemampuan memahami mandiri (*independent level*). Struktur materi yang sistematis, pemilihan kosakata yang tepat, serta tata letak visual yang konsisten mendukung proses pembelajaran mandiri dan memungkinkan peserta didik memahami konsep fisika tanpa ketergantungan penuh pada pendampingan guru. Tingginya keterbacaan ini menegaskan pentingnya integrasi prinsip cognitive load dan multimedia learning, di mana penyajian materi secara terstruktur, ringkas, dan visual membantu mengurangi beban kognitif dan meningkatkan pemahaman konsep yang kompleks.

Analisis pretest-posttest dan N-Gain memperlihatkan peningkatan kompetensi sains yang signifikan pada seluruh kelas. Nilai pretest yang relatif rendah, terutama pada beberapa kelas, mencerminkan variasi kemampuan awal peserta didik sesuai prinsip prior knowledge, di mana pemahaman awal terhadap konsep sains yang kompleks belum merata. Setelah pembelajaran menggunakan e-book, nilai posttest menunjukkan distribusi yang lebih merata, mengindikasikan bahwa peserta didik mampu membangun pemahaman konseptual secara bertahap. Penurunan standar deviasi posttest mengindikasikan homogenisasi pemahaman antar siswa, sehingga perbedaan kemampuan awal dapat diminimalkan melalui media pembelajaran yang dirancang secara interaktif dan kontekstual. Variasi kategori N-Gain antar kelas menegaskan adanya respons individu yang berbeda, dipengaruhi motivasi belajar dan kemampuan belajar mandiri.

Respon peserta didik melalui angket menunjukkan skor baik pada seluruh aspek, meliputi penyajian materi, bahasa dan penulisan, kesesuaian konten, daya tarik, motivasi, serta kemudahan akses dan interaktivitas. E-book dinilai menarik, mudah dipahami, relevan dengan pengalaman sehari-hari, dan mendorong keterlibatan aktif siswa selama pembelajaran. Hasil ini menegaskan bahwa e-book tidak hanya menjadi sumber belajar pasif, tetapi juga media interaktif yang mampu meningkatkan literasi digital dan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa e-book fisika berbasis ESD telah memenuhi kriteria kelayakan konseptual dan praktis, efektif digunakan dalam pembelajaran fisika SMA, serta mampu meningkatkan pemahaman konsep ilmiah, motivasi belajar, dan literasi digital peserta didik. Integrasi prinsip ESD dalam materi pembelajaran memungkinkan siswa memaknai fisika tidak hanya sebagai pengetahuan teoritis, tetapi juga sebagai landasan untuk merespons isu keberlanjutan lingkungan secara kritis. Temuan ini

menegaskan potensi e-book sebagai alternatif media pembelajaran abad ke-21 yang relevan dengan penguatan kompetensi sains, literasi digital, dan pemahaman kontekstual pada peserta didik SMA.

D. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan e-book fisika berbasis *Education for Sustainable Development* (ESD) pada materi pemanasan global yang layak digunakan dalam pembelajaran SMA, dibuktikan melalui validasi ahli dan praktisi pada aspek substansi materi, desain, kebahasaan, dan keterlaksanaan. E-book ini terbukti meningkatkan kompetensi sains peserta didik, dengan N-Gain kategori sedang hingga tinggi, menurunkan variasi hasil belajar, serta memfasilitasi pemahaman konseptual dan penalaran ilmiah secara kontekstual. Tingkat keterbacaan yang tinggi dan respons positif siswa menunjukkan efektivitas e-book sebagai media pembelajaran mandiri, interaktif, dan kontekstual. Integrasi nilai ESD memungkinkan siswa memahami fisika tidak hanya secara teoritis, tetapi juga sebagai dasar untuk menanggapi isu keberlanjutan secara kritis, sekaligus membuka peluang penelitian lanjutan untuk menguji efektivitas e-book pada materi sains lain dan dampaknya terhadap indikator kompetensi sains dalam kerangka PISA.

E. DAFTAR PUSTAKA

- OECD. (2023). PISA 2022 results (Volume I): The state of learning and equity in education. OECD Publishing.
- Bagus, D., et al. (2022). Hasil PISA 2022: Capaian sains Indonesia. *Jurnal Pendidikan Indonesia*, 1(1), 1–12.
- Vilmala, B. K., Kaniawati, I., Suhandi, A., & Permanasari, A. (2024). A literature review of education for sustainable development (ESD) in science learning: What, why, and how. *Jurnal Nasional Sains dan Inovasi*, 5(1), 1–12.
- Setiawani, E., Apsari, N., & Lestari, N. (2021). Assessment literasi sains dimensi kompetensi pada materi pemanasan global. *Qudus Journal of Physics and Science Education*, 1(1), 23–32.
- Prameswari, I., Praherdhiono, H., & Husna, N. (2022). E book berbasis elaborasi gambar sebagai penguatan kognitif siswa. *Jurnal Kajian Teknologi Pendidikan*, 5(4), 423–432.
- Utami, T. E., & Retnantiti, S. (2022). Pengembangan e book bahasa Mandarin “学汉语” berbasis Kvisoft Flipbook Maker untuk siswa kelas XI SMA Islam. *JoLLA: Journal of*

- Language, Literature, and Arts, 2(12), 1696–1708.
- Siti Khoerunisa. (2024). Karakter peduli lingkungan peserta didik dalam penerapan Eco Literacy untuk mendukung ESD di sekolah dasar. *Jurnal Penelitian Pendidikan*, 24(1), 110–118.
- Tahmid, Nurkhoiri, & Syaiful. (2024). Peningkatan literasi sains dan berpikir kritis melalui ESD di SMPN 2 Bojong. *Diklabio: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Biologi*, 8(2), 235–245.
- Pratiwi, R. S., & Rachmadiarti, F. (2022). Pengembangan E-Book Berbasis Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Materi Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan untuk Melatihkan Keterampilan Literasi Sains. *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu)*, 11(1), 165–178.
- Rahayu, S., Muntari, M., Harjono, A., Makhrus, M., Kurniadin, M. Z., Sarwanto, & Mohtar, S. H. (2024). Development of science e-books based on local wisdom to improve digital literacy and students' critical thinking skills as an innovation to improve Education Sustainable Development Goals (ESDG). *Jurnal Kependidikan: Jurnal Hasil Penelitian dan Kajian Kepustakaan di Bidang Pendidikan, Pengajaran, dan Pembelajaran*, 11(1).
- Aiken, L. R. (1985). Three coefficients for analyzing the reliability and validity of ratings. *Educational and Psychological Measurement*, 45(1), 131–142.
- Retnawati, H. (2016). Proving content validity of self regulated learning scale (The comparison of Aiken index and expanded Gregory index). *REID (Research and Evaluation in Education)*, 2(2), 155–164.
- Borg, W. R., & Gall, M. D. (2003). *Educational research: An introduction* (7th ed.). Pearson.
- Dick, W., & Carey, L. (2009). *The systematic design of instruction* (7th ed.). Pearson.
- Maryani, S. (2025). Keterbacaan teks pada buku bahasa Indonesia kelas VIII dengan formulasi grafik Raygor. *Literasi: Jurnal Ilmiah Pendidikan Bahasa, Sastra Indonesia dan Daerah*, 15(1).
- Sonia, S., & Yuliani, Y. (2023). Keefektifan penggunaan e book interaktif enzim sebagai bahan ajar untuk melatihkan kemampuan literasi digital. *Jurnal Inovasi Pembelajaran Biologi*, 4(2), 113–124.
- Putri, A. T., Mulyono, Y., & Ayatusa'adah. (2024). Pengembangan E book Discovery Learning untuk meningkatkan hasil belajar siswa pada materi sistem sirkulasi. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 15(1).
- Rahayu, S., Muntari, M., Harjono, A., Makhrus, M., Kurniadin, M. Z., Sarwanto, & Mohtar, S. H.

- (2024). Development of STEM based interactive e books to improve students' science literacy. *Tadris: Jurnal Keguruan dan Ilmu Tarbiyah*, 7(1).
- Nurhatmi, J. (2024). Teori multimedia pembelajaran: landasan kognitif dan implikasi desain instruksional. *Al Habib: Jurnal Pendidikan Islam dan Keguruan*, 1(1).
- Taufik, A. N., Kristina, H., Gibran, B. F., Sabililah, A., Septiani, S., Warraihanah, D. A., & Risalah, O. T. (2023). Pengembangan e book kontekstual berorientasi kearifan lokal Banten untuk siswa SMP. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 13(4).
- Widianita, N. K. F., & Sujana, I. W. (2024). Multimedia interaktif berbasis contextual teaching and learning pada materi kalimat efektif Bahasa Indonesia. *Jurnal Media dan Teknologi Pendidikan*, 4(3), 358–368.