

Pengembangan E-Modul STEM: Inovasi Pendidikan IPA untuk Meningkatkan Keterampilan Abad 21 pada Siswa Sekolah Dasar

Isyti Nihayati^{1*}, Sri Haryani², Amin Yusuf³, Ulya Fawaida⁴

^{1,2,3}) Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia

⁴Institute Agama Islam Negeri Kudus, Kudus, Indonesia

*E-mail: Nihayatiisyti@students.unnes.ac.id

ABSTRAK

Di era revolusi industri 4.0, siswa diharapkan memiliki keterampilan abad 21, yaitu menguasai keterampilan 4C: Komunikasi, Kolaborasi, Berpikir Kritis, dan Kreativitas. Keterampilan ini penting untuk mempersiapkan siswa menghadapi tantangan di abad 21. Salah satu metode pembelajaran yang mendukung pengembangan keterampilan tersebut adalah pembelajaran berbasis STEM (Sains, Teknologi, Teknik, dan Matematika). Untuk membantu penerapan STEM dalam pembelajaran IPA, diperlukan bahan ajar yang efektif, seperti modul yang bisa digunakan siswa secara mandiri. Dalam hal ini, e-modul IPA berbasis STEM dikembangkan khusus untuk meningkatkan keterampilan abad 21 pada siswa kelas V SD. E-modul ini dibuat menggunakan software Book Creator dan mengikuti model pengembangan Plomp. Penelitian ini dilakukan sampai tahap pengembangan prototipe, dan hasilnya menunjukkan bahwa e-modul IPA berbasis STEM ini valid dan praktis digunakan dalam pembelajaran.

Kata kunci: E-Modul; STEM ; Keterampilan abad ke-21

ABSTRACT

In the era of the industrial revolution 4.0, students are expected to have 21st century skills, namely mastering the 4Cs skills: Communication, Collaboration, Critical Thinking, and Creativity. These skills are essential to prepare students for the challenges of the 21st century. One of the learning methods that supports the development of these skills is STEM-based learning (Science, Technology, Engineering, and Mathematics). To help the application of STEM in science learning, effective teaching materials are needed, such as modules that students can use independently. In this case, STEM-based science e-modules

were developed specifically to improve 21st century skills in grade V elementary school students. This e-module was created using Book Creator software and follows the Plomp development model. This research was carried out until the prototype development stage, and the results show that this STEM-based science e-module is valid and practical to use in learning.

Keywords: *E-Module; STEM ; 21st century skills*

PENDAHULUAN

Di era Revolusi Industri 4.0, sumber daya manusia dituntut untuk memiliki keterampilan abad 21 (Nazifah & Asrizal, 2022). Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sangat cepat telah menghapus batasan geografis dalam komunikasi. Perkembangan ini juga membawa dampak signifikan terhadap tantangan global serta persaingan antar negara. Di Indonesia, diperlukan pengembangan sumber daya manusia yang berkualitas untuk mampu bersaing secara global. Oleh karena itu, penguatan keterampilan abad ke-21 menjadi kunci dalam mempersiapkan sumber daya manusia yang kompeten di tengah era globalisasi ini.

Ketrampilan abad ke-21 adalah jawaban atas tantangan revolusi industri 4.0 di bidang pendidikan. Keterampilan abad ke-21 yang dimaksud adalah bahwa setiap orang menguasai keterampilan 4C (Cretu, 2017; Soule & Warrick, 2015). Hal ini dikonfirmasi oleh Partnership for 21st Century Skills (P21, 2019) dalam Framework for 21st Century Learning yang mengidentifikasi keterampilan 4C yang dimaksud adalah keterampilan Komunikasi, Kolaborasi, Berpikir kritis dan Kreativitas. Keempat keterampilan ini harus dimiliki oleh semua orang untuk menghadapi dunia di abad ke-21.

Berpikir kritis adalah keterampilan dasar lainnya yang memungkinkan individu menganalisis informasi, mengevaluasi argumen, dan membuat keputusan yang tepat (Handayani et al., 2023; Prastyaningrum et al., 2023). Pemikiran tentang subjek, isi, dan masalah dilakukan melalui kegiatan analisis, penilaian, dan rekonstruksi (Papp, 2014). Indikator berpikir kritis yang dapat digunakan adalah: mengajukan pertanyaan, mencari jalan, menjawab pertanyaan dan mencari alasan, mencari solusi alternatif (Rahmawati 2014; Ennis 2011).

Berpikir kreatif didefinisikan kemampuan untuk menghasilkan ide-ide baru yang bervariasi untuk memecahkan masalah dengan cara yang inovatif (Nazifah & Asrizal, 2022; Wallas, 1926; Woolfolk, 2016). Menurut (Sahida & Zarvianti, 2019; Tanjung & Nasution, 2023), berpikir kreatif adalah proses berpikir yang memiliki karakteristik kefasihan, fleksibilitas, orisinalitas dan detailing atau elaborasi. Indikator kreativitas yang digunakan terdiri dari empat indikator, yaitu: banyak bertanya, berpikir berbagai cara menjawab dengan banyak jawaban dan memberikan berbagai interpretasi atau alasan (Tanjung & Nasution, 2023).

Komunikasi merupakan kemampuan untuk menyampaikan pemikiran, ide, pengetahuan, atau informasi baru, baik secara lisan maupun tertulis (Geisinger, 2016). Indikator yang dinilai dalam keterampilan komunikasi meliputi kemampuan menyampaikan pendapat dan gagasan secara akurat (Diquito et al., 2022), merangkum informasi (Ratnasari et al., 2019), menggunakan kalimat yang tepat dan efektif, serta memanfaatkan tanda baca dengan benar (Auliya Vilda Ghasya & Kartono, 2020).

Kolaborasi adalah keterampilan bekerja sama secara efisien sambil menghargai anggota tim yang beragam, serta mengembangkan kemampuan dan kesediaan untuk membuat keputusan yang dibutuhkan demi mencapai tujuan bersama (Geisinger, 2016). Kolaborasi dengan orang lain mencakup: (1) kemampuan bekerja secara efektif dan menghormati anggota tim yang memiliki latar belakang berbeda, (2) menunjukkan fleksibilitas dan kemauan untuk berkompromi demi mencapai tujuan bersama, serta (3) bertanggung jawab dalam kerja tim dan menghargai kontribusi setiap anggota (VURAL & VURAL, 2021).

Salah satu pendekatan pembelajaran yang saat ini sangat mendukung pengembangan keterampilan abad ke-21 adalah pembelajaran berbasis STEM (Sains, Teknologi, Teknik, dan Matematika) (Siddiq & Asrizal, 2023; Sochacka et al., 2016). STEM mencakup beberapa aspek, di antaranya aspek sains, yang melibatkan penggunaan pengetahuan dan keterampilan proses ilmiah untuk memahami serta mengelola fenomena alam (Agung et al., 2022; Aswirna et al., 2022). Aspek teknologi meliputi pemahaman tentang bagaimana teknologi baru dapat dikembangkan dan diterapkan untuk mempermudah pekerjaan manusia. Aspek teknik berkaitan dengan operasi, perancangan, atau perakitan yang didasarkan pada ilmu

pengetahuan dan teknologi (Lestari et al., 2018). Sementara itu, aspek matematika berfokus pada kemampuan untuk menganalisis, memberikan bukti, menyelesaikan masalah, serta menafsirkan solusi dari data dan hasil perhitungan.

Untuk mendukung keberhasilan pendekatan interdisipliner STEM dalam pembelajaran IPA disekolah dasar, diperlukan bahan ajar yang efektif. Bahan ajar adalah segala bentuk materi yang digunakan untuk membantu guru dalam melaksanakan proses belajar mengajar (Asrizal et al., 2022) . Salah satu bahan ajar yang dapat mendukung kemandirian siswa dalam belajar adalah modul (Femilia & Asrizal, 2023; Mahayukti & Dewi, 2022). Modul ini memungkinkan adanya kendali atas hasil belajar melalui penerapan standar kompetensi yang harus dicapai oleh siswa, sehingga siswa lebih bertanggung jawab atas tindakan mereka. Dengan demikian, modul IPA berbasis STEM sangat diperlukan dalam pembelajaran untuk menilai keberhasilan siswa dari aspek pengetahuan, keterampilan, dan sikap.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nazifah & Asrizal (2022) menyatakan bahwa pengembangan E-Modul IPA terintegrasi STEM berhasil menciptakan bahan ajar yang valid dan praktis untuk meningkatkan keterampilan abad ke-21 siswa. Melalui proses evaluasi formatif yang melibatkan self-evaluation, expert review, dan umpan balik dari siswa serta guru, modul ini terbukti memenuhi kriteria yang diperlukan untuk digunakan dalam pembelajaran. Hasilnya menunjukkan bahwa E-Modul ini tidak hanya menarik dan mudah digunakan, tetapi juga efektif dalam mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis, kreatif, dan kolaboratif siswa, yang sangat penting dalam menghadapi tantangan di era industri 4.0 (Aswirna et al., 2022; Nazifah & Asrizal, 2022; Tenti et al., 2021)berdasarkan penelitian sebelumnya, disimpulkan bahwa penggunaan e-modul ipa terintegrasi STEM dapat meningkatkan ketrampilan abad ke-21 siswa sekolah dasar.

Setelah melaksanakan penelitian awal di SD 1 Bakalan Krapyak ditemukan bahwa realitas di lapangan tidak sesuai dengan kondisi ideal yang diharapkan. Berdasarkan hasil wawancara, ditemukan bahwa dalam pembelajaran ipa di sekolah dasar beberapa guru belum menggunakan bahan ajar yang sesuai dengan karakteristik siswa. Hasil wawancara guru menyatakan bahwa mereka telah menerapkan keterampilan 4C dalam pembelajaran IPA di sekolah dasar, seperti keterampilan kreatif dan kritis. Namun, sumber belajar yang digunakan

belum membekali siswa untuk meningkatkan keterampilan abad ke-21 siswa sesuai dengan tuntutan kurikulum.

Berdasarkan analisis karakteristik siswa di sekolah, ditemukan bahwa motivasi belajar siswa rendah, salah satu penyebab yang mendukung rendahnya motivasi belajar siswa terlihat dari perolehan nilai ujian tengah semester siswa kelas V SD 1 Bakalan Krapyak pada pembelajaran IPA dengan rata-rata 65,53. Selanjutnya, analisis konteks integrasi STEM dalam buku teks yang digunakan dalam pembelajaran. Hasil analisis konteks dapat disimpulkan bahwa penerapan konsep STEM dalam pembelajaran IPA di sekolah dasar di beberapa sekolah di Kota Kudus masih terbatas.

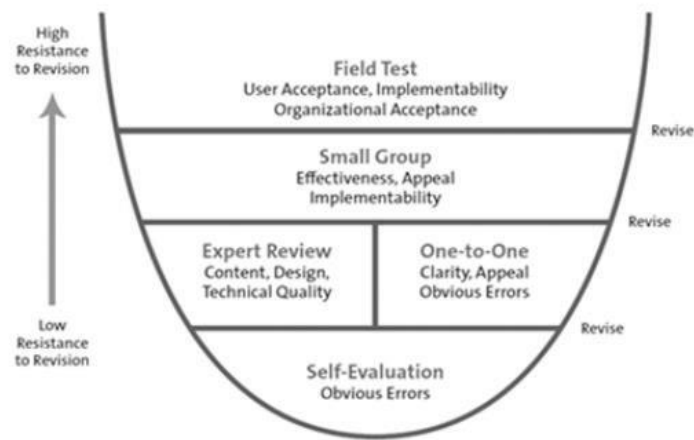
Berdasarkan fakta yang disajikan, perlu dicari solusi untuk mengatasi masalah ini. Salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah dengan mengembangkan modul elektronik terintegrasi STEM untuk meningkatkan keterampilan abad ke-21 siswa SD kelas V. Hal ini didukung oleh beberapa keunggulan dari solusi yang diusulkan. Modul elektronik merupakan salah satu sumber belajar yang paling mudah digunakan karena dapat dipelajari di mana saja dan kapan saja, lebih menarik, interaktif, dan penggunaan TIK dalam pembelajaran dapat meningkatkan hasil belajar siswa (Benty et al., 2020). Pembelajaran berbasis STEM mengharuskan siswa memiliki keterampilan belajar dan inovasi, yang meliputi berpikir kritis, kreatif, inovatif, serta mampu berkomunikasi dan berkolaborasi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan hasil tahapan pengembangan e-modul IPA terpadu terintegrasi STEM untuk meningkatkan ketrampilan siswa abad ke 21 dengan kriteria yang valid dan praktis. Diharapkan produk yang dikembangkan akan bermanfaat untuk pembelajaran dan penelitian lebih lanjut. Selanjutnya, penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif referensi untuk meningkatkan kualitas pembelajaran di bidang ilmu lainnya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan, yaitu pengembangan bahan ajar berupa e-modul IPA terintegrasi STEM untuk meningkatkan keterampilan abad ke-21 siswa SD kelas V. E-Module dikembangkan menggunakan perangkat lunak bookcreator dengan mengacu pada model plomp. Menurut Akker (2010), ada tiga tahapan dalam penelitian untuk mengembangkan Model Plomp. Penelitian pendahuluan

pertama, yang dilakukan untuk memperoleh informasi tentang permasalahan di lapangan dan untuk merancang produk yang akan dikembangkan. Kedua, pengembangan atau pembuatan prototipe Tahap evaluasi formatif dilakukan pada produk yang dikembangkan, kegiatan evaluasi formatif dilakukan melalui evaluasi diri, tinjauan ahli, evaluasi satu-ke-satu, kelompok kecil dan uji lapangan (Plomp & Nieveen, 2010). Alur evaluasi formatif dapat dilihat pada Gambar 1. Ketiga, Tahap Asesmen dilakukan pada tahap uji lapangan, bertujuan untuk mengetahui efektivitas e-modul IPA yang dikembangkan pada aspek kompetensi sikap, aspek pengetahuan dan aspek keterampilan.



Gambar 1. Alur Evaluasi Formatif (Tessmer, 1993)

Penelitian ini dilakukan di SD 1 Bakalan Krpyak. Waktu studi dilaksanakan pada semester II tahun akademik 2021/2022. Subjek penelitian ini adalah siswa kelas V sekolah dasar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan hasil tahapan pengembangan e-modul IPA terpadu STEM untuk meningkatkan keterampilan siswa abad ke-21 dalam kriteria yang valid dan praktis.

Tahapan penelitian yang dilakukan meliputi persiapan penelitian dan pelaksanaan penelitian. Persiapan penelitian pada tahap penelitian pendahuluan meliputi pengamatan awal proses pembelajaran di sekolah, analisis karakteristik siswa dan penyusunan instrumen penelitian. Penelitian dilakukan dengan evaluasi diri, tinjauan ahli, evaluasi satu-ke-satu dan sampai pada tahap kelompok kecil.

Metode pengumpulan data meliputi target, metode, instrumen dan subjek penelitian. Tahap pertama adalah uji validitas produk. Uji validitas produk yang dikembangkan dilakukan dengan menggunakan lembar review ahli dengan 4 aspek, yaitu kelayakan substansi materi, kelayakan komunikasi visual, kelayakan desain pembelajaran, dan penggunaan perangkat lunak. Analisis yang digunakan untuk menguji validitas adalah seperti yang diusulkan aiken (Ramadhan et al., 2024). Penilaian dilakukan dengan menetapkan angka antara 1 (yaitu sangat tidak representatif atau sangat tidak relevan) hingga 4 (yaitu sangat representatif atau sangat relevan). Nilai aiken v diperoleh dengan menggunakan Persamaan 1 (Ramadhan et al., 2024).

$$V = \frac{\sum s}{[n(c - 1)]}$$

Keterangan

$$S = r - l_0$$

l_0 = Nilai terendah dari penilaian validitas (angka terendah = 1)

c = Jumlah penilaian validitas tertinggi (angka tertinggi = 4)

r = Nomor yang diberikan oleh validator

Metode penelitian terdiri atas jenis penelitian, waktu dan tempat penelitian, prosedur penelitian serta analisis data yang digunakan untuk mendeskripsi pemecahan masalah penelitian dan atau menguji hipotesis.

Hasil perhitungan Aiken berkisar antara 0 hingga 1 dan angka 0,6 dapat diartikan memiliki koefisien yang cukup tinggi. Nilai V 0,6 ke atas dinyatakan dalam kategori valid (Ramadhan et al., 2024). Tahap kedua pengumpulan data adalah meminta tanggapan 6 siswa terhadap e-modul IPA melalui wawancara dan meminta guru dan siswa kelas V sekolah dasar untuk menanggapi e-modul IPA melalui kuesioner. Data respon siswa dan guru diperoleh dari kuesioner kepraktisan. Nilai persentase diperoleh dengan menggunakan Persamaan berikut.

$$\text{Responden score} = \frac{\text{total score obtained}}{\text{maximum score}} \times 100\%$$

Hasil perhitungan skor respons dibagi menjadi lima kriteria. Kriteria penentuan kepraktisan produk dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1.

Interval	Category
0-20	Fail
21-40	Not enough
41-60	Enough
61-80	Well
81-100	Very well

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap Penelitian Pendahuluan, dilakukan kegiatan untuk mendapatkan informasi tentang permasalahan di pembelajaran dan menentukan pengembangan yang perlu dilakukan. Tahapan ini meliputi hasil analisis siswa menggunakan lembar kuesioner siswa, hasil analisis masalah pembelajaran menggunakan instrumen lembar wawancara guru dan hasil analisis kegiatan pembelajaran menggunakan lembar analisis konteks. Berdasarkan hasil investigasi awal, produk yang dikembangkan adalah e-modul IPA terpadu terintegrasi STEM untuk meningkatkan keterampilan siswa abad ke-21. Modul yang dikembangkan mengacu pada Supardi (2020) yang terdiri dari: pendahuluan, kegiatan pembelajaran (judul, deskripsi materi, ringkasan, lembar kerja dan evaluasi dan penutupan(Supardi, 2020).

Pada tahap pengembangan atau pembuatan prototipe, dilakukan evaluasi formatif terhadap e-modul IPA. Pertama, peneliti melakukan evaluasi sendiri terhadap e-modul tersebut. Dari evaluasi ini, ditemukan beberapa kesalahan, seperti salah ejaan, tanda baca, kekurangan fitur di produk, serta tidak adanya deskripsi gambar dan video dalam e-modul. Setelah itu, e-modul direvisi untuk memperbaiki kesalahan yang ditemukan. Kedua, hasil revisi tersebut kemudian diserahkan kepada para ahli untuk divalidasi. Validasi dilakukan oleh tiga dosen dari Universitas Negeri Semarang. Hasil validasi terkait integrasi STEM ke dalam e-modul IPA ini ditampilkan dalam tabel 2.

Tabel 2. Validitas E-Modul IPA Terintegrasi STEM

Componrn	Aiken's Value	Criteria
Material Substance	0.86	Valid
Visual Communication	0.82	Valid
Learning Design	0.87	Valid
Software usage	0.87	Valid
Average	0.86	Valid

Berdasarkan data di Tabel 2, keempat aspek validasi menunjukkan nilai Aiken's V lebih dari 0,6, yang termasuk dalam kategori valid. Rata-rata nilai dari para validator adalah 0,86, yang berarti e-modul IPA berbasis STEM ini valid untuk meningkatkan keterampilan abad ke-21. E-modul ini memenuhi syarat dari segi konten, desain pembelajaran, tampilan visual, dan penggunaan perangkat lunak pendukung. Keempat aspek tersebut adalah komponen penting dalam pengembangan bahan ajar berbasis teknologi (Komalasari et al., 2019).

E-modul IPA terintegrasi STEM ini layak digunakan dalam proses pembelajaran IPA, karena telah melalui proses validasi yang ketat. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan bahan ajar yang telah divalidasi dapat meningkatkan kualitas pembelajaran dan membantu siswa dalam mengembangkan keterampilan yang diperlukan untuk menghadapi tantangan di abad ke-21, seperti berpikir kritis, kreativitas, dan kolaborasi (Diocos, 2023; Natuna et al., 2021). Dengan demikian, e-modul ini tidak hanya memenuhi standar akademik, tetapi juga berkontribusi pada pengembangan keterampilan yang relevan dengan kebutuhan pendidikan saat ini (Bahadir et al., 2019; Vural & Vural, 2021).

E-modul IPA terintegrasi STEM berlaku berdasarkan aspek substansi material dengan nilai V Aiken 0,86. Indikator substansi material meliputi Materi yang disajikan lengkap dan memunculkan hal-hal baru serta materi yang disajikan mudah dipahami dan menggunakan bahasa standar. Aspek komunikasi visual dengan nilai V Aiken 0,82. Indikator aspek komunikasi visual terdiri dari navigasi, huruf, media, warna, gambar, animasi dan tata letak dalam e-modul IPA terintegrasi STEM. Hal ini juga diungkapkan oleh Kurniati (2015) yang menyatakan bahwa penggunaan jenis dan ukuran huruf yang konsisten serta desain yang menarik yang digunakan akan

meningkatkan motivasi dan kenyamanan siswa dalam belajar(Kurniati et al., 2015).

Aspek desain pembelajaran pada e-modul IPA mendapatkan nilai Aiken's V sebesar 0,87, menunjukkan bahwa indikator yang mencakup judul, kompetensi inti dan dasar, tujuan pembelajaran, materi, lembar kerja, latihan, evaluasi, serta referensi, telah memenuhi kriteria validitas yang tinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa nilai Aiken's V di atas 0,6 menunjukkan validitas yang baik untuk instrumen pendidikan (Abdulfattah & Supahar, 2019; Purwanto, 2023). Selain itu, aspek penggunaan perangkat lunak juga mendapat nilai Aiken's V 0,87, yang mencakup orisinalitas perangkat lunak dan umpan balik dari sistem kepada pengguna, menegaskan pentingnya kualitas perangkat lunak dalam mendukung proses pembelajaran (Annisa & Wang, 2022; Marlina & Wang, 2022).

Pada akhir evaluasi, ketiga ahli diminta memberikan rekomendasi untuk produk tersebut. Rekomendasi ini mencakup peningkatan lebih lanjut pada e-modul IPA terintegrasi STEM agar layak sebagai bahan ajar utama. Khususnya, disarankan agar materi dilengkapi dengan contoh fenomena dari lingkungan sekitar siswa, dan soal evaluasi harus ditingkatkan ke tingkat HOTS (Higher Order Thinking Skills). Hal ini sejalan dengan temuan yang menunjukkan bahwa integrasi konteks lokal dalam pembelajaran dapat meningkatkan relevansi dan pemahaman siswa terhadap materi (Khuzaimah et al., 2022; Pratiwi & Rachmadiarti, 2021). Penekanan pada pengembangan soal evaluasi yang mendorong pemikiran tingkat tinggi juga penting untuk mempersiapkan siswa menghadapi tantangan di abad ke-21 (Annisa et al., 2022).

Ketiga, Evaluasi Satu lawan Satu dilakukan pada 3 siswa menggunakan instrumen wawancara. E-modul IPA terpadu diberikan kepada siswa berkemampuan tinggi, sedang, dan rendah. Siswa diminta untuk membaca e-modul IPA tanpa diajarkan oleh guru terlebih dahulu. Peneliti memberikan pertanyaan kepada siswa setelah membaca e-modul IPA yang disediakan berupa peta konsep yang mudah, materi, keterampilan abad ke-21, dan lembar kegiatan. Siswa berpikir bahwa modul elektronik membangkitkan rasa ingin tahu dan minat untuk menguasai materi IPA. Hal ini dikarenakan e-modul IPA dapat digunakan di mana saja dan kapan saja, dan disertai dengan pemahaman materi melalui video, animasi, dan kegiatan praktek menggunakan simulasi phet. E-

modul IPA sudah valid secara grafis karena ukurannya sesuai dengan usia dan bahan. Wulandari & Oktaviani (2021) menyatakan bahwa keakuratan bahan ajar yang digunakan dalam proses pembelajaran akan memudahkan penerimaan materi pelajaran yang diberikan (Wulandari & Oktaviani, 2021).

Keempat, Evaluasi Kelompok Kecil dilakukan dengan mempraktikkan E-modul IPA yang valid pada siswa. Evaluasi Kelompok Kecil dilakukan pada siswa kelas V Sekolah dasar yang berasal dari kemampuan sedang dan rendah dan satu guru kelas V SD 1 Bakalan Kranyak. Bahan yang diuji adalah perubahan wujud benda. Uji kepraktisan e-modul IPA dari kelompok kecil menggunakan kuesioner siswa.

kuesioner kepraktisan mencakup beberapa indikator, yaitu dapat digunakan, mudah digunakan, menarik dan hemat biaya (Jonathan Saswono, 2006). Hasil kepraktisan respon siswa dan guru dapat dilihat pada Tabel 3.

Indicator	Student Response		Teacher Response	
	Value	Category	Value	Category
Usable	78.57	well	85.00	Very Well
Easy To Use	75.69	Well	90.00	Very Well
Appealing	79.74	Well	90.00	Very Well
Cost Effective	81.94	Very Well	95.00	Very Well
Average	78.98	Well	90.00	Very Well

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa tingkat kepraktisan e-modul IPA terintegrasi STEM didasarkan pada respon siswa dengan nilai kepraktisan rata-rata sebesar 78,98. Hal ini dapat diindikasikan bahwa kepraktisan e-modul IPA terpadu STEM menurut siswa dalam kelompok kecil dalam kriteria yang baik. Berdasarkan respon guru, nilai kepraktisan rata-rata adalah 90.00. Dapat diartikan bahwa kepraktisan e-modul IPA terintegrasi STEM berdasarkan respon guru sangat baik.

Siswa dalam kelompok kecil masih membutuhkan waktu yang lama untuk memahami e-modul IPA. Pelajaran e-modul IPA telah direvisi dan disempurnakan dalam desainnya sehingga siswa dapat mempelajarinya dalam waktu yang optimal. Skor tertinggi ada pada pernyataan komposisi warna di e-modul IPA, yang menarik

untuk dibaca. E-modul IPA dirancang dengan warna sehingga menarik bagi siswa dan pada akhirnya meningkatkan motivasi dalam belajar. Dengan demikian, dilakukan revisi berdasarkan saran dari guru dan siswa, sehingga dapat diuji dalam kelompok besar produk e-modul IPA terintegrasi STEM yang dapat meningkatkan keterampilan siswa abad ke-21. Ramli (2020) menyatakan bahwa integrasi konsep STEM dalam e-modul IPA dapat meningkatkan keterampilan belajar dan inovasi, yang meliputi pemikiran kritis, kreatif, inovatif, serta mampu berkomunikasi dan berkolaborasi (Ramli et al., 2020).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengembangan e-modul IPA terintegrasi STEM untuk meningkatkan keterampilan abad ke-21 siswa, pada tahap pertama, evaluasi diri menghasilkan e-modul IPA terpadu STEM untuk diuji validitasnya oleh para ahli. Tahap kedua adalah expert review, menghasilkan e-modul IPA terintegrasi STEM yang valid yang telah memenuhi kelayakan substansi material, kelayakan komunikasi visual, kelayakan desain pembelajaran, dan penggunaan perangkat lunak dengan nilai rata-rata 0,86. Tahap selanjutnya adalah evaluasi one-to-one dan kelompok kecil, dari respon siswa dan guru yang menyatakan bahwa E-modul IPA dapat digunakan, mudah digunakan, menarik, dan hemat biaya dengan nilai rata-rata 78,98 respon siswa pada kategori baik dan skor rata-rata. Rata-rata respon guru adalah 90,00 pada kategori sangat baik. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa pengembangan e-modul IPA terintegrasi STEM untuk meningkatkan keterampilan abad ke-21 siswa yang dikembangkan adalah valid dan praktis untuk digunakan dalam pembelajaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulfattah, A., & Supahar. (2019). The Development of Problem-Based Learning Test Instruments for the High School Physics Problem Solving Skills. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists*, 7(4), 1037–1053. <https://doi.org/10.17478/jegys.602291>
- Agung, I. D. G., Suardana, I. N., & Rapi, N. K. (2022). E-Modul IPA dengan Model STEM-PjBL Berorientasi Pendidikan Karakter untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa. *Jurnal Imiah Pendidikan Dan Pembelajaran*, 6(1), 120.

<https://doi.org/10.23887/jipp.v6i1.42657>

- Annisa, N. H., Asrizal, A., & Festiyed, F. (2022). Effects of STEM-based Learning Materials on Knowledge and Literacy of Students in Science and Physics Learning: A Meta-Analysis. *Journal of Physics Conference Series*, 2309(1), 12063. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2309/1/012063>
- Annisa, N. H., & Wang, L. (2022). Design and Validity of STEM Integrated Physics Electronic Teaching Materials to Improve New Literacy of Class XI High School Students. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 10(3), 177–192. <https://doi.org/10.26618/jpf.v10i3.7900>
- Asrizal, A., Mardian, V., Novitra, F., & Festiyed, F. (2022). Physics electronic teaching material-integrated STEM education to promote 21st-century skills. *Cypriot Journal of Educational Sciences*, 17(8), 2899–2914. <https://doi.org/10.18844/cjes.v17i8.7357>
- Aswirna, P., Kiswanda, V., Nurhasnah, N., & Fahmi, R. (2022). Implementation of STEM E-Module with SDGs Principle to Improve Science Literacy and Environment-friendly Attitudes in Terms of Gender. *JTK (Jurnal Tadris Kimiya)*, 7(1), 64–77. <https://doi.org/10.15575/jtk.v7i1.16599>
- Auliya Vilda Ghasya, D., & Kartono. (2020). Technical Guidance 21st Century Learning Application to Improve the Pedagogic and Professional Competence of Elementary School Teacher. *Abdimas Umtas: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(2), 754–759.
- Bahadir, Z., Certel, Z., & Topuz, R. (2019). The Role of 21st Century Learner Skills of Physical Education and Sports Teachers and Teacher Candidates on Teacher Skills. *Turkish Journal of Sport and Exercise*, 400–407. <https://doi.org/10.15314/tsed.593785>
- Benty, D. D. N., Kusumaningrum, D. E., Santoso, F. B., Prayoga, A. G., Ubaidillah, E., Rochmawati, & Wardani, A. D. (2020). Use of Information and Communication Technology in Learning in the Covid-19 Pandemic Period to Improve Student Learning Outcomes. *Proceedings - 2020 6th International Conference on Education and Technology, ICET 2020*, 165–169. <https://doi.org/10.1109/ICET51153.2020.9276617>
- Cretu, D. M. (2017). Fostering 21st Century Skills For Future Teachers Social & behavioural sciences edu world 2016 7th International Conference fostering 21st Century skills for

- future teacher. *The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences*, September, 673–681.
- Diocos, C. B. (2023). 21st Century Skills of Practice Teachers: Inputs to Curriculum Enhancement and Instructional Development. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 04(01), 300–306. <https://doi.org/10.55248/gengpi.2023.4104>
- Diquito, T. J., Anter, M. C. J., & Bulonos, N. J. (2022). a Survey of 21St Century Skills Acquisition Among the Preservice Teachers of Teacher Education Programs. *European Journal of Open Education and E-Learning Studies*, 7(2), 59–72. <https://doi.org/10.46827/ejoe.v7i2.4368>
- Femilia, M., & Asrizal, A. (2023). Preliminary Study on the Development of Global Warming E-Learning Material in Independent Curriculum. *Journal of Innovative Physics Teaching*, 1(1), 50–61. <https://doi.org/10.24036/jipt/vol1-iss1/4>
- Geisinger, K. F. (2016). 21st Century Skills: What Are They and How Do We Assess Them? *Applied Measurement in Education*, 29(4), 245–249. <https://doi.org/10.1080/08957347.2016.1209207>
- Handayani, P., Marbun, S., Maya Novitri, D., & Simanjuntak, J. (2023). *The Relationship of Critical Thinking and Creativity of Early Childhood Education Students In Case Method-Based and Team Based Projects Courses*. <https://doi.org/10.4108/eai.24-11-2022.2332526>
- Jonathan Saswono. (2006). *Metode Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif* (Issue January).
- Khuzaimah, A. U., Amin, B. D., & Arafah, K. (2022). Physics Problem Based E-Module Development to Improve Student’s Physics Concept Understanding. *Jurnal Penelitian Pendidikan Ipa*, 8(4), 2389–2395. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v8i4.2009>
- Komalasari, B. S., Jufri, A. W., & Santoso, D. (2019). Pengembangan Bahan Ajar IPA Berbasis Inkuiri Terbimbing Untuk Meningkatkan Literasi Sains. *Jurnal Penelitian Pendidikan Ipa*, 5(2), 219–227. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v5i2.279>
- Kurniati, I. D., Setiawan, R., Rohmani, A., Lahdji, A., Tajally, A., Ratnaningrum, K., Basuki, R., Reviewer, S., & Wahab, Z. (2015). *Buku Ajar*.
- Lestari, T. P., Sarwi, S., & Sumarti, S. S. (2018). STEM-Based Project Based Learning Model to Increase Science Process and Creative Thinking Skills of 5th Grade. *Journal*

of Primary Education, 7(1), 18–24.

- Mahayukti, G. A., & Dewi, P. K. (2022). Validity and Practicality of Problem-Based Integral Calculus Teaching Materials Assisted with Mathematical Software. *Proceedings of the 4th International Conference on Innovative Research Across Disciplines (ICIRAD 2021)*, 613(Icirad), 13–20. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.211222.003>
- Marlina, L., & Wang, L. (2022). Validity of Ict Based on Integrated Stem Education Teaching Materials to Improve Data Literature and Technology Physics Students. *Pillar of Physics Education*, 15(3), 189. <https://doi.org/10.24036/13501171074>
- Natuna, D. A., Putra, M. J. A., & Azhar, A. (2021). TEACHERS' PERFORMANCE IN ONLINE LEARNING DURING COVID-19 OUTBREAK: AN ANALYSIS BASED ON 21st CENTURY PROFICIENCY. *International Journal of Educational Best Practices*, 5(2), 197. <https://doi.org/10.31258/ijebp.v5n2.p197-210>
- Nazifah, N., & Asrizal, A. (2022). Development of STEM Integrated Physics E-Modules to Improve 21st Century Skills of Students. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(4), 2078–2084. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v8i4.1820>
- P21. (2019). Partnership for 21st Century Learning A Network of Battelle For Kids Frameworks for 21st Century Learning Definitions. *Framework For21" Century Learning*, 1–9. https://static.battelleforkids.org/documents/p21/P21_Framework_DefinitionsBFK.pdf
- Plomp, T., & Nieveen, N. M. (2010). *An introduction to educational design research*.
- Prastyaningrum, I., Imansari, N., & Kholifah, U. (2023). Analysis of Critical Thinking Skills and Collaboration of Electronic Engineering Education Students in Electrical Machinery Course. *IJIET (International Journal of Indonesian Education and Teaching)*, 7(1), 114–120. <https://doi.org/10.24071/ijiet.v7i1.5091>
- Pratiwi, R. S., & Rachmadiarti, F. (2021). 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. <https://doi.org/10.26740/bioedu.v11n1.p165-178>
- Purwanto, S. (2023). The Development and Validity of Mindfulness Dhikr Breathing

- Therapy for Insomnia. *The Indonesian Journal of Public Health*, 18(3), 382–394.
<https://doi.org/10.20473/ijph.v18i3.2023.382-394>
- Ramadhan, M. F., Siroj, R. A., & Afgani, M. W. (2024). Validitas and Reliabilitas. *Journal on Education*, 6(2), 10967–10975. <https://doi.org/10.31004/joe.v6i2.4885>
- Ramli, R., Yohandri, Y., Sari, Y. S., & Selisne, M. (2020). Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik Fisika Berbasis Pendekatan Science, Technology, Engineering, and Mathematics untuk Meningkatkan Berpikir Kritis Peserta Didik. *Jurnal Eksakta Pendidikan (Jep)*, 4(1), 10. <https://doi.org/10.24036/jep/vol4-iss1/405>
- Ratnasari, D., Roemintoyo, R., & Winarno, W. (2019). *Implementation of Education Management as a Medicine in the Achievement of 21st Century Skills in Primary School*. c. <https://doi.org/10.4108/eai.27-4-2019.2286827>
- Sahida, D., & Zarvianti, E. (2019). Development of Problem Based Learning (PBL) practicum guide to improve student Creative Thinking Skills (CTS) in basic physics subject. *Journal of Educational and Learning Studies*, 2(1), 39. <https://doi.org/10.32698/0492>
- Siddiq, I., & Asrizal, A. (2023). Development of STEM-Integrated Static Fluid E-Modules to Improve Students' Creative Thinking and Science Process Skills. *Jurnal Eksakta Pendidikan (Jep)*, 7(2), 171–1784. <https://doi.org/10.24036/jep/vol7-iss2/770>
- Sochacka, N. W., Guyotte, K. W., & Walther, J. (2016). Learning Together: A Collaborative Autoethnographic Exploration of STEAM (STEM + the Arts) Education. *Journal of Engineering Education*, 105(1), 15–42. <https://doi.org/10.1002/jee.20112>
- Soule, H., & Warrick, T. (2015). Defining 21st century readiness for all students: What we know and how to g...: Discovery Service for FRESNO PACIFIC UNIV. *American Psychological Association*, 9(2), 178–186. <http://0-eds.a.ebscohost.com.librarycatalog.fresno.edu/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=0952ae08-6f01-4c16-897d-94fdd7019518%40sessionmgr4010>
- Supardi. (2020). *Landasan Pengembangan Bahan Ajar*. <https://books.google.co.id/books?id=orQPEAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=BAHAN+AJAR&hl=jv&sa=X&ved=2ahUKEwie783e8azwAhWWaCsKHZ51AikQ6AEwAXoECAAQAQ#v=onepage&q=BAHAN AJAR&f=false>

- Tanjung, Y. I., & Nasution, I. R. (2023). The Development of Creative Thinking Test Instruments with Torrance Indicators on Direct Current Electricity Materials. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 18(2), 134–143. <https://doi.org/10.15294/jpfi.v18i2.32117>
- Tenti, N. P., Asrizal, -, Murtiani, -, & Gusnedi, -. (2021). Meta-Analysis of The Effect of Integration Stem Education in a Various Learning Models on Student Physics Learning Outcomes. *Pillar of Physics Education*, 13(4), 520. <https://doi.org/10.24036/10331171074>
- Vural, Ö. F., & Vural, S. (2021). An Examination of 5th Grade Mathematics Curriculum in Terms of 21st Century Skills. *International Journal of Educational Research Review*, 6(2), 82–92. <https://doi.org/10.24331/ijere.824752>
- VURAL, Ö. F., & VURAL, S. (2021). An Examination of 5th Grade Mathematics Curriculum in Terms of 21st Century Skills. *International Journal of Educational Research Review*, 6(2), 82–92. <https://doi.org/10.24331/ijere.824752>
- Wallas, G. (1926). *Wallas, G. (1926). The art of thought.*
- Woolfolk, A. (2016). Educational Psychology, Thirteen Edition. In *Pearson Education Ltd.*
- Wulandari, I., & Oktaviani, N. M. (2021). Validitas Bahan Ajar Kurikulum Pembelajaran Untuk Pendidikan Guru Sekolah Dasar. *Jurnal Cakrawala Pendas*, 7(1), 90–98. <https://doi.org/10.31949/jcp.v7i1.2456>