



Pengembangan KIT *Smart-System with Solar Panel and Sound Sensor* Menggunakan Pendekatan STEM pada Materi Pengenalan Instrumen Digital

Siti Humairoh¹, Ahmad Suryadi², Devi Solehat^{1*}, Muhamad Ihsanuddin³

¹ Prodi Pendidikan Fisika, UIN Syarif Hidayatullah, Indonesia

² Prodi Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Makassar, Indonesia

³ Madrasah Aliyah Negeri 2 Cilegon, Indonesia

*Korespondensi Penulis. E-mail: devi.sholehat@uinjkt.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan media pembelajaran KIT *Smart-System with Solar Panel and Sound Sensor* berbasis pendekatan STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) guna meningkatkan hasil belajar peserta didik pada materi pengenalan instrumen digital. Metode yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan 4D (*Define, Design, Develop, Disseminate*). Validasi media dilakukan dengan 10 *expert judgement*, dengan hasil kelayakan rata-rata 92% pada aspek alat dan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD), serta validasi instrumen pembelajaran memperoleh nilai CVI sebesar 1,00. Kepraktisan diuji menggunakan *User Experience Questionnaire* (UEQ) dan memperoleh skor tertinggi pada skala *Attractiveness* (1,44) dan *Stimulation* (1,42), yang menunjukkan respon sangat positif. Efektivitas media dianalisis melalui *n-Gain* dengan rata-rata skor *pre-test* 40,5 dan *post-test* 78,2, menghasilkan nilai *n-Gain* sebesar 0,62 (62%), yang tergolong cukup efektif. Hasil ini menunjukkan bahwa KIT *Smart-System* sangat layak, praktis, dan cukup efektif digunakan sebagai media pembelajaran fisika berbasis pendekatan STEM secara optimal dan berkelanjutan.

Kata Kunci: KIT *smart-system*, Pengembangan media, STEM.

Development of Smart-System KIT with Solar Panel and Sound Sensor using STEM Approach on Digital Instrument Introduction Material

Abstract

This study aims to develop the KIT *Smart-System with Solar Panel and Sound Sensor* learning media based on the STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) approach to improve students' learning outcomes in digital instrument introduction material. The method used is *Research and Development* (R&D) with the 4D development model (*Define, Design, Develop, Disseminate*). The media was validated by 10 expert judgments, with an average feasibility score of 92% for the tools and Student Worksheets (SW), and the learning instrument validation obtained a CVI score of 1.00. Practicality was tested using the *User Experience Questionnaire* (UEQ) and achieved the highest scores on the *Attractiveness* (1.44) and *Stimulation* (1.42) scales, indicating a very positive response. The effectiveness of the media was analyzed using *n-Gain*, with an average *pre-test* score of 40.5 and a *post-test* score of 78.2, resulting in an *n-Gain* value of 0.62 (62%), which is considered sufficiently effective. These results indicate that the KIT *Smart-System* is highly suitable, practical, and sufficiently effective for use as a physics learning medium based on the STEM approach optimally and sustainably.

Keywords: KIT *Smart-System*, Media Development, STEM.

How to Cite: Humairoh, S., Suryadi, A., Solehat, D., Ihsanuddin, M. (2025). Pengembangan kit smart-system with solar panel and sound sensor menggunakan pendekatan stem pada materi pengenalan instrumen digital. *Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains*, 13(Special Issue), 115–132. https://doi.org/10.21831/jpms.v13iSpecial_issue.88718

Permalink/DOI: DOI: https://doi.org/10.21831/jpms.v13iSpecial_issue.88718

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang sangat pesat di era Revolusi Industri 4.0 dan *Society 5.0* (K. Fukuda, 2020) menuntut dunia pendidikan untuk menghasilkan sumber daya manusia yang adaptif, kreatif, dan mampu menguasai keterampilan abad ke-21, seperti; berpikir kritis, pemecahan masalah, dan penguasaan teknologi (Daryanes et al., 2023; kei Fukuda, 2021). Dalam konteks Revolusi Industri 4.0, dunia tengah mengalami transformasi besar-besaran dalam bidang teknologi, termasuk dalam pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) dan *Artificial Intelligence* (AI), begitupun era *Society 5.0* yang menekankan integrasi manusia dan teknologi dalam kehidupan sehari-hari (Azhari et al., 2023; Ellitan, 2020; kei Fukuda, 2021). Transformasi ini mengubah orientasi pendidikan dari sekadar penyampaian konten menjadi pembelajaran berbasis inovasi dan kreativitas (Pratama et al., 2025). Hal ini diperkuat oleh *Sustainable Development Goals* (SDGs) poin 4 dan 7, yang menekankan pentingnya pendidikan berkualitas (*Quality Education*) dan penguasaan teknologi yang mendukung keberlanjutan energi (*Affordable and Clean Energy*).

Selaras dengan visi global dalam SDGs, Indonesia perlu melakukan penyesuaian melalui kebijakan dan inovasi pembelajaran yang relevan dengan tuntutan era digital dan keberlanjutan energi (Saa, 2024). Regulasi terbaru, yaitu Permendikbudristek Nomor 16 Tahun 2022 tentang Standar Proses, ditegaskan bahwa proses pembelajaran harus berlangsung secara interaktif, inspiratif, menyenangkan, menantang, dan mendorong partisipasi aktif peserta didik, serta memberi ruang bagi kreativitas dan eksplorasi teknologi (Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, 2022). Ketentuan ini diperkuat dalam Peraturan Pemerintah Nomor 57 Tahun 2021 tentang Standar Nasional Pendidikan, yang menekankan pentingnya pembelajaran berbasis kecakapan abad 21 dan teknologi digital (Republik Indonesia, 2021, p. 57).

Meskipun berbagai regulasi telah diterapkan, praktik di lapangan menunjukkan bahwa tantangan dalam dunia pendidikan masih belum sepenuhnya teratasi (Fa'izah et al., 2024; Nurwahidah et al., 2021), tantangan yang sering ditemui adalah terbatasnya media pembelajaran yang mampu menjembatani konsep fisika yang abstrak dengan pengalaman belajar yang konkret

(Maslakhah et al., 2024). Dibuktikan dengan hasil observasi di dua Madrasah Aliyah (MA) di Provinsi Banten, yaitu di Kota Tangerang Selatan dan Kota Cilegon, teridentifikasi salah satu tantangan nyata dalam pembelajaran, yaitu belum terealisasinya pembelajaran materi pengenalan instrumen digital dalam Kurikulum Merdeka. Meskipun materi ini sangat relevan dengan perkembangan zaman, implementasinya di kelas masih sangat terbatas (Hikmawati et al., 2019).

Selain kondisi serupa yang ditemukan, di MA Kota Cilegon juga didapati bahwa media pembelajaran yang digunakan masih kurang bervariasi. Penggunaan alat peraga hanya terbatas pada materi-materi tertentu, dikarenakan terkendalanya media pembelajaran yang tersedia di sekolah (Abdulrahman et al., 2020; Tina et al., 2022). Di samping itu, sumber belajar alternatif juga belum dimanfaatkan secara optimal. Keterbatasan media yang sesuai dengan karakteristik materi dan pendekatan pembelajaran menjadi hambatan tersendiri, khususnya dalam pembelajaran topik-topik berbasis teknologi yang menuntut adanya praktik langsung (Fa'izah et al., 2024; Hennessy et al., 2022). Padahal, media pembelajaran memiliki peran strategis dalam menciptakan suasana belajar yang aktif dan bermakna (Daryanes et al., 2023; Kandia, 2023; Maritsa et al., 2021). Melihat dari perspektif pendidikan, media merupakan instrumen penting yang dapat menunjang keberhasilan proses belajar mengajar, sebab keberadaannya mampu memberikan dinamika tersendiri terhadap peserta didik (Khaffi & Idris, 2020).

Ketiadaan alat bantu atau media pembelajaran yang sesuai kerap menimbulkan dilema bagi guru dalam menyampaikan materi secara efektif di kelas (Johnson et al., 2016; Pratama & Rohaeti, 2024). Di sisi lain, peserta didik memerlukan pembelajaran berbasis aplikatif guna memahami konsep-konsep yang bersifat abstrak (Moreno Olivos, 2016). Akibatnya, antusiasme dan pemahaman peserta didik terhadap pembelajaran fisika khususnya materi pengantar instrumen digital masih rendah (Maritsa et al., 2021; Jeranoski & Leitão, 2024).

Salah satu bentuk inovasi yang penting untuk dikembangkan adalah media pembelajaran yang praktis dan mendorong keterlibatan aktif peserta didik (Kwangmuang et al., 2021; Sofirin et al., 2025). Sebagai respon dari permasalahan sebelumnya, diperlukan Solusi pengembangan media pembelajaran yang

berbasis teknologi dan praktik langsung. Pengembangan media berbasis praktik ini sejalan dengan arah kebijakan pendidikan nasional yang menekankan pembelajaran kontekstual, kolaboratif, dan berbasis teknologi (Ika Sari et al., 2024).

Penggunaan media pembelajaran berbasis KIT adalah upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi tantangan ini (Ananingtyas et al., 2022; Suryadi et al., 2024; Verawati et al., 2022). Berbagai penelitian sebelumnya telah menunjukkan potensi media pembelajaran berbasis teknologi dalam meningkatkan hasil belajar dan keterlibatan peserta didik. Penelitian yang dilakukan Suryadi et al. (2024), mengembangkan KIT berbasis panel surya dalam program pembelajaran STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) untuk merakit lampu taman otomatis, yang terbukti efektif meningkatkan minat peserta didik terhadap sains. Permatasari et al. (2019) dan Verawati et al. (2022) juga merancang alat peraga berbasis arduino dan sensor untuk materi energi, meskipun masih terbatas pada fungsi demonstrasi dan belum dilengkapi sistem pengukuran digital. Penelitian oleh Fadilah & Lubis (2018) serta Lestari & Sucahyo (2023) menekankan pentingnya alat peraga energi alternatif dalam meningkatkan keaktifan belajar. Sementara itu, Ananingtyas et al. (2022) telah mengembangkan media pembelajaran berbasis Arduino dalam konteks STEM untuk meningkatkan literasi digital dan sains. Meskipun demikian, seluruh penelitian tersebut belum secara spesifik mengembangkan media pembelajaran kontekstual untuk materi pengenalan instrumen digital, yang mengintegrasikan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) berbasis pendekatan STEM sebagai bagian dari sistem pembelajaran utuh. Materi pengantar instrumen digital masih relatif baru dalam konteks pembelajaran fisika, sehingga memerlukan pendekatan yang lebih kontekstual dan inovatif agar dapat diimplementasikan secara efektif di ruang kelas (Tarigan et al., 2024).

Melihat celah tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan KIT *Smart-System with solar panel and sound sensor*, yakni alat praktik yang dirancang berbasis Arduino, panel surya, dan sensor suara, untuk memberikan pengalaman belajar berbasis eksperimen digital dengan membuat suatu sistem elektronika sederhana. KIT ini akan dilengkapi dengan LKPD yang diintegrasikan dengan pendekatan

STEM. Pendekatan STEM dipilih karena mampu memberikan pengalaman belajar lintas bidang dan mengembangkan keterampilan abad ke-21 (Azhari et al., 2023; Nurmala et al., 2021), mampu mengembangkan kreativitas maupun berpikir kritis peserta didik melalui proses pemecahan masalah dalam kehidupan sehari-hari (Nurmala et al., 2021). Media pembelajaran berbasis teknologi dan pendekatan STEM efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep dan hasil belajar peserta didik (Ananingtyas et al., 2022; Hanif et al., 2021; Hennessy et al., 2022).

METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada semester genap tahun ajaran 2024/2025 di dua sekolah mitra, madrasah aliyah di provinsi Banten. Jenis penelitian ini adalah *research and development* (R&D) dengan model pengembangan 4D (*Define, Design, Develop, Disseminate*) yang dikembangkan oleh (Thiagarajan et al., 1974). Produk yang dikembangkan adalah KIT *Smart-System with Solar Panel and Sound Sensor*, yaitu media pembelajaran fisika berbasis Arduino yang dilengkapi dengan LKPD terintegrasi pendekatan STEM.

Subjek dalam penelitian ini terdiri dari dua kelompok utama, yaitu validator ahli dan peserta didik kelas XII. 1) 20 validator terdiri dari 10 orang ahli media (6 dosen pendidikan fisika, 1 dosen fisika murni, 1 dosen teknik informatika, dan 2 guru fisika SMA) dan 10 orang lainnya merupakan validator instrumen tes. 2) Peserta didik yang menjadi subjek uji coba terdiri dari 57 orang, subjek uji coba dipilih menggunakan teknik *purposive sampling* atau pemilihan subjek berdasarkan pertimbangan tertentu, seperti kesiapan dan representativitas kemampuan akademik (Sugiyono, 2019). Uji coba dilakukan dalam tiga tahap, yaitu *initial testing*, *quantitative testing*, dan *total-package testing*.

Prosedur penelitian dimulai dari tahap *define* (pendefinisian) mencakup analisis ujung depan (kurikulum), karakteristik peserta didik, konsep materi, tugas pembelajaran, dan perumusan tujuan pembelajaran. Dilanjutkan dengan tahap kedua, *design* (desain) meliputi penyusunan perangkat awal, yaitu instrumen evaluasi, *storyboard* media, desain awal, dan *prototype* KIT. Kemudian tahap ketiga, *develop* (pengembangan), dilakukan dengan validasi produk oleh para ahli untuk memperoleh data kelayakan, dilanjut dengan uji pengembangan untuk memperoleh data kepraktisan serta

keefektifan. Sampai di tahap akhir, *disseminate* (penyebarluasan), dilakukan penyempurnaan produk dan diseminasi terbatas ke sekolah mitra. Selain itu pada tahap ini produk juga telah dipresentasikan dalam kejuaraan *The 4th LKTIN Smart Researcher* yang diselenggarakan oleh

Indonesian Young Scientist Association (IYSA), sebagai bentuk diseminasi akademik, inovasi pendidikan berbasis teknologi, dan kontribusi terhadap isu pembangunan berkelanjutan (SDGs). Prosedur penelitian dapat dilihat secara rinci pada Tabel 1.

Tabel 1. Prosedur penelitian

Tahap Pengembangan	Langkah Penelitian
Pendefinisian (<i>Define</i>)	1. Analisis awal (<i>front-end analysis</i>) 2. Analisis peserta didik (<i>Learner analysis</i>) 3. Analisis tugas (<i>Task analysis</i>) 4. Analisis konsep (<i>Concept analysis</i>) 5. Perumusan tujuan pembelajaran (<i>Specifying instructional objectives</i>)
Desain (<i>Design</i>)	1. Membuat tes standar (<i>Criterion test construction</i>) 2. Penentuan media (<i>Media selection</i>) 3. Memilih format bahan ajar (<i>Format selection</i>) 4. Perancangan awal (<i>Initial design</i>)
Pengembangan (<i>Development</i>)	1. Validasi Ahli (<i>Expert appraisal</i>) 2. Uji Pengembangan (<i>Developmental testing</i>)
Penyebarluasan (<i>disseminate</i>)	1. Penyempurnaan produk Akhir (<i>Final packaging</i>) 2. Penyebaran dan adopsi (<i>Diffusion and adoption</i>)

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan teknik pengambilan data, yaitu tes dan non-tes. Teknik tes digunakan untuk melihat keefektifan produk dengan mengumpulkan data peningkatan hasil belajar kognitif peserta didik sebelum dan sesudah penggunaan produk (*n-Gain*) (Sesmiyanti et al., 2019). Sedangkan teknik non-tes digunakan untuk 1) mengetahui preferensi awal dari guru dan peserta didik 2) menilai kelayakan produk yang dilakukan oleh *expert judgement*, dan 3) mengukur kepraktisan media.

Teknik pengambilan data (tes) menggunakan instrumen hasil belajar kognitif, berupa soal pilihan ganda sebanyak 15 butir yang dikembangkan berdasarkan indikator capaian materi pengenalan instrumen digital. Penyusunan soal mengacu pada taksonomi ranah kognitif kemudian divalidasi oleh sembilan *expert judgement* yang terdiri dari ahli materi dan ahli bahasa. Kisi-kisi instrument soal dan indikator validasinya dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Kisi-kisi instrumen soal

Konsep	Indikator	Level kognitif	Nomor soal
Sistem elektronika	Mengidentifikasi dan memilih penerapan otomatisasi sederhana yang efektif untuk menghemat energi di rumah.	C3, C2	1, 2
Semikonduktor	Memahami konsep dan jenis material semikonduktor, mengidentifikasi tipe-N dan tipe-P, serta menjelaskan fungsi LED, transistor, dan IC sebagai komponen elektronika yang bekerja berdasarkan prinsip semikonduktor.	C1, C2, C4	3, 4, 5, 6, 7
Gerbang logika	Memahami, menerapkan, dan menganalisis penggunaan gerbang logika AND, OR, NOR, dan NAND.	C1, C2, C3, C4	8, 9, 10, 11, 12
Aplikasi gerbang logika	Mengaplikasikan gerbang logika dalam rangkaian elektronika. Merakit dan mengevaluasi sebuah sistem elektronika sederhana	C4, C5	13, 14, 15

Tabel 3. Indikator validasi instrumen soal

Aspek	Indikator
Materi	Butir soal sesuai dengan yang di LKPD Jawaban logis dan opsi pengecoh relevan Hanya ada satu kunci jawaban Soal dirumuskan dengan jelas Pokok soal tidak memberi petunjuk kepada pilihan jawaban yang benar Kalimat soal tidak mengandung arti ganda Pilihan jawaban homogen Antar butir tidak bergantung satu sama lain
Bahasa	Kalimat menggunakan kaidah Bahasa Indonesia Soal menggunakan bahasa yang komunikatif Menggunakan bahasa/kata yang umum (bukan bahasa lokal) Rumusan kalimat tidak membuat salah pengertian

Perhitungan hasil validasi instrument soal dilakukan dengan menggunakan pendekatan *Content Validity Index* (CVI) (Yusra et al., 2025), yang diperoleh dari rata-rata nilai *Content Validity Ratio* (CVR) masing-masing butir soal (Suwarna, 2016). Perlu dicatat bahwa fokus utama penelitian ini adalah pengembangan dan pengujian produk (media pembelajaran), sehingga uji validitas instrumen soal dilakukan secukupnya namun tetap memenuhi syarat sebagai alat ukur keefektifan. Keefektifan dianalisis dengan menghitung *n-gain* antara nilai *pre-test* dan *post-test* menggunakan rumus yang dikembangkan oleh Hake (1998), dengan kriteria: tinggi ($g > 0,70$), sedang ($0,30 < g \leq 0,70$), dan rendah ($g \leq 0,30$). Lebih lanjut, kriteria tersebut ditafsirkan ke dalam empat tingkat keefektifan produk, yakni efektif apabila persentase melebihi 76%, cukup efektif pada

rentang 56–75%, kurang efektif antara 40–55%, dan tidak efektif jika berada di bawah 40% (Arfandi et al., 2023).

Teknik pengambilan data (non-tes), menggunakan instrument 1) Angket preferensi awal peserta didik dan pedoman wawancara guru yang digunakan pada tahap *define* untuk menggali kebutuhan dan karakteristik lapangan. 2) Pengukuran kelayakan LKPD dan media KIT menggunakan instrumen validasi ahli. Indikatornya diadaptasi dari instrumen Suryadi et al. (2024) dan Panduan Pembuatan Alat Peraga Fisika Sederhana untuk SMA (2011), yang disesuaikan dengan kebutuhan penelitian (*Panduan Pembuatan Alat Peraga Fisika Sederhana Untuk SMA*, 2011; Suryadi et al., 2024). Instrumen kelayakan LKPD dan media KIT dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Instrumen validasi media dan materi

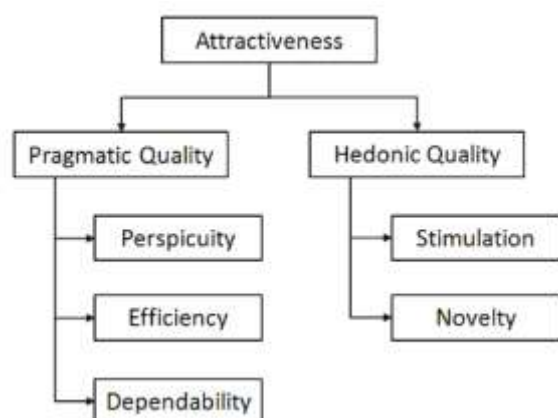
Produk	Aspek	Indikator
LKPD	Konten/isi pembelajaran	Kesesuaian TP dengan CP Fisika Fase F Kesesuaian aktivitas dengan TP LKPD mendukung kemampuan kreativitas ilmiah. LKPD mengembangkan kemampuan berkomunikasi. LKPD mendukung pemecahan masalah.
	Tampilan	Tampilan menarik Susunan dan sistematika LKPD konsisten Jenis huruf, ilustrasi, bentuk, dan warna konsistensi Penyajian teks dan gambar sesuai pembaca yang dituju. Penyajian gambar relevan dan mendukung pemahaman materi

Produk	Aspek	Indikator
LKPD dan Alat KIT	Bahasa	Menggunakan bahasa Indonesia yang sesuai dengan kaidah EYD Penggunaan kalimat yang efektif Bahasa yang digunakan mudah dipahami Tidak menggunakan bahasa dengan makna yang ambigu
	Keterkaitan dengan bahan ajar	Sesuai dengan konsep yang diajarkan Mempermudah proses pembelajaran Membantu dalam pemahaman konsep
	Nilai Pendidikan	Membantu guru dalam menyampaikan materi pembelajaran Bahasa pemrograman arduino IDE yang digunakan sesuai untuk pengguna non-programmer
Alat KIT	Ketahanan alat	Dapat digunakan secara berulang Mudah dirawat
	Keakuratan alat	Jenis <i>microcontroller</i> dan modul sensor yang digunakan sudah tepat <i>Microcontroller</i> berfungsi dengan baik Ketepatan memilih komponen dan rangkaian <i>Output</i> sesuai dan berfungsi dengan baik
	Efisiensi alat	Mudah dirangkai Mudah digunakan kapan saja dan dimana saja Mudah dibawa
	Keamanan Bagi peserta didik	Komponen yang dipilih aman digunakan Aman dirakit oleh peserta didik
	Estetika dan kelengkapan alat	Memiliki bentuk yang sesuai dengan kebutuhan materi Memiliki desain yang menarik Memiliki Panduan isi yang lengkap Dilengkapi dengan LKPD
	Kotak Kit/Penyimpanan	Dibuat dari bahan/komponen yang mudah ditemukan Dilengkapi dengan tempat penyimpanan agar mudah untuk menyimpan/mengambil Tempat penyimpanan alat memiliki ketahanan yang baik

Data hasil validasi produk diperoleh melalui penilaian menggunakan skala Likert lima poin. Skor dari setiap aspek direratakan yang kemudian dikonversi ke dalam bentuk persentase kelayakan (Ernawati, 2017; Marar et al., 2023). Hasil persentase tersebut diinterpretasikan ke dalam lima kategori, yaitu: sangat kurang valid (0–20%), kurang valid (21–40%), cukup valid (41–60%), valid (61–80%), dan sangat valid (81–100%). Secara teoritis, suatu produk dinyatakan layak apabila persentase kelayakannya mencapai minimal 61% (Ayubi & Sudomo, 2020). Sedangkan untuk mengukur kepraktisan, produk diukur menggunakan instrumen yang dikembangkan oleh Schrepp, 2017 *User Experience*

Questionnaire (UEQ) (Schrepp et al., 2017). Instrumen UEQ terdiri dari 26 item yang dikelompokkan ke dalam enam skala, yaitu *Attractiveness*, *Perspicuity*, *Efficiency*, *Dependability*, *Stimulation*, dan *Novelty*. Keenam skala tersebut terbagi menjadi dua kategori utama: *Pragmatic Quality* dan *Hedonic Quality*. *Pragmatic Quality* mencakup aspek *Perspicuity* (kejelasan), *Efficiency* (efisiensi penggunaan), dan *Dependability* (keandalan). Sementara *Hedonic Quality* meliputi *Stimulation* (daya tarik emosional) dan *Novelty* (unsur kebaruan). Seluruh skala ini berkontribusi terhadap penilaian umum terhadap *Attractiveness*, yaitu sejauh mana produk secara keseluruhan dianggap menarik oleh pengguna.

Struktur hubungan antar-skala ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur 6 skala UEQ

Kepraktisan dianalisis melalui skor UEQ dengan kategori: positif ($> 0,8$), normal ($-0,8$ hingga $0,8$), dan negatif ($< -0,8$) (Schrepp et al., 2017).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produk yang dihasilkan berupa media pembelajaran fisika KIT *Smart-System with Solar Panel and Sound Sensor*, yang dirancang untuk meningkatkan keterlibatan peserta didik dalam memahami konsep instrumen digital (Mustakim et al., 2024; Rizk & Hillier, 2022). Media ini terdiri dari dua pilar komponen utama, yaitu alat KIT dan LKPD. Alat KIT berbasis Arduino dengan *input* berupa panel surya dan sensor suara, serta *output* berupa lampu LED. KIT dikembangkan dalam bentuk modular dan bongkar pasang, agar peserta didik dapat merakit dan mengeksplorasi hubungan antar komponen secara langsung (Rogosic et al., 2021; Souza & Debs, 2024). Pendekatan ini tidak hanya memperkuat pemahaman konsep, tetapi juga menumbuhkan keterampilan berpikir kritis dan problem solving (Carmo et al., 2025; Chamrat et al., 2019).

Selain alat KIT, produk juga dilengkapi dengan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) berbasis pendekatan STEM. LKPD ini berfungsi sebagai penunjang utama dalam proses pembelajaran berbasis praktik (Ate et al., 2025). Pertama, LKPD berperan sebagai panduan eksplorasi, yang membantu peserta didik mengenali dan memahami komponen-komponen dalam KIT, seperti sensor suara, panel surya, dan LED, serta cara merakitnya menjadi sebuah sistem otomatisasi sederhana

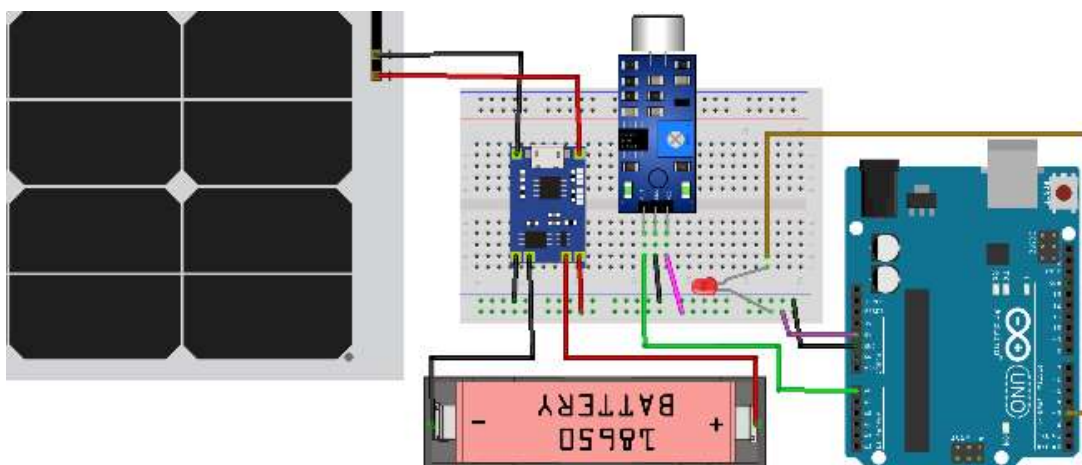
(Ernawati, 2017). Kedua, LKPD dirancang untuk mengarahkan proses berpikir ilmiah melalui aktivitas terstruktur (Windayani & Pertiwi, 2023). Ketiga, LKPD berfungsi untuk menghubungkan konsep teoretis dengan praktik langsung, sehingga peserta didik tidak hanya memahami materi instrumen digital secara konseptual, tetapi juga mampu mengaitkannya dengan pengalaman eksploratif menggunakan alat KIT (Luciana et al., 2025). Dengan demikian, LKPD menjadi media pendamping yang esensial dalam membangun pemahaman yang utuh dan aplikatif terhadap materi (Abdurrahman et al., 2023; Jones et al., 2025; Suryadi et al., 2024).

Pengembangan Produk

Proses pengembangan dilakukan secara bertahap dan sistematis mengacu pada model 4D (*Define, Design, Develop, Disseminate*) (Thiagarajan et al., 1974). Model ini dipilih karena memiliki langkah-langkah sistematis yang membantu proses pengembangan media pembelajaran secara terstruktur, mulai dari analisis kebutuhan hingga uji coba produk dan penyempurnaan produk (Abdurrahman et al., 2020; Naeem et al., 2023).

Pada tahap pendefinisian (*Define*), dilakukan analisis kebutuhan melalui wawancara guru dan observasi, yang menunjukkan perlunya media pembelajaran kontekstual berbasis digital. Analisis peserta didik menunjukkan bahwa peserta didik cenderung tertarik pada alat yang bersifat interaktif (Hertzog & Swart, 2017; Mupa & Chinooneka, 2015). Selain itu, materi yang dikembangkan dikaitkan dengan konsep-konsep pada materi pengenalan Instrumen digital. Tujuan pembelajaran dirumuskan berdasarkan pendekatan STEM yang menekankan integrasi antar disiplin ilmu. Secara spesifik, tujuan pembelajaran dirumuskan berdasarkan format ABCD (*Audience, Behavior, Condition, Degree*) (Fadoli, 2022; Sari et al., 2020).

Tahap perancangan (*Design*) mencakup penyusunan instrumen tes berupa soal pilihan ganda untuk mengukur hasil belajar kognitif peserta didik. Media yang dipilih adalah KIT *Smart-System* yang terdiri dari dua komponen utama, yaitu LKPD dan alat praktik, media ini dirancang menggunakan komponen Arduino, sensor suara (*sound sensor*), panel surya, serta output berupa lampu LED. Visualisasi rancangan fisik alat ditampilkan pada Gambar 2.

Gambar 2. Desain *prototype*

Format produk dirancang dalam bentuk LKPD sebagai bahan ajar utama yang terintegrasi dengan penggunaan alat KIT *Smart-System*. Format LKPD disusun secara sistematis, terdiri dari bagian pendahuluan, deskripsi materi, peta konsep, aktivitas pembelajaran dengan pendekatan STEM, serta soal evaluasi dan refleksi. Produk awal ini kemudian disiapkan untuk tahap validasi oleh para ahli (Suhendro et al., 2018; Thiagarajan et al., 1974).

Pada tahap pengembangan (*Develop*), dilakukan validasi oleh sepuluh ahli yang terdiri dari ahli materi, media, dan bahasa. Selanjutnya, dilakukan uji coba bertahap mulai dari individu (*initial teasting*), kelompok kecil (*quantitative teasting*) dan hingga kelompok besar di dua

sekolah mitra (*total-package testing*) (Thiagarajan et al., 1974). Tahapan ini menghasilkan data validasi, kepraktisan, dan efektivitas produk.

Hasil Uji Efektivitas

Efektivitas media KIT *Smart-System* diuji dengan membandingkan hasil *pre-test* dan *post-test* peserta didik, baik pada tahap *quantitative testing* (kelompok kecil) maupun *total package testing* (kelompok besar). Data hasil belajar dianalisis menggunakan rumus *n-Gain* yang dikembangkan oleh Hake (1998), untuk mengetahui peningkatan kemampuan kognitif peserta didik. Hasil rekapitulasi data rata-rata ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil belajar peserta didik skala bertingkat

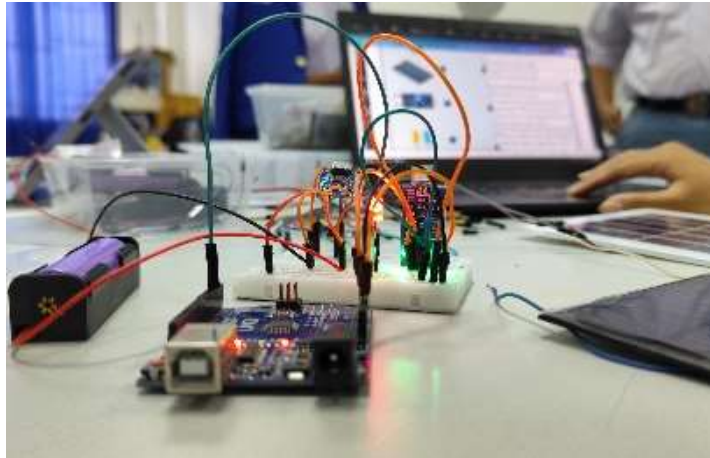
Tahap	N	Rata-rata <i>Pre-test</i>	Rata-rata <i>Post-test</i>	<i>n-Gain</i>	(%)
<i>Quantitative testing</i>	5	37.33	76.00	0.61	61
<i>Total packaging</i>	48	43.6	80.4	0.63	63
Rata-Rata		40.5	78.2	0.62	62

Diperoleh rata-rata nilai *pre-test* sebesar 40.5 dan *post-test* sebesar 78.2, dengan rata-rata *n-Gain* sebesar 0.62 (62%). Berdasarkan interpretasi *n-Gain* menurut (Hake, 1998), hasil ini berada dalam kategori sedang, yang dapat ditafsirkan bahwa media pembelajaran tergolong cukup efektif dalam meningkatkan hasil belajar peserta didik pada materi pengenalan instrumen digital. Hal ini menunjukkan bahwa keterlibatan langsung siswa dalam menggunakan alat peraga yang kontekstual memberikan dampak positif

terhadap pemahaman konsep (Abdulrahman et al., 2020; Dewi & Primayana, 2019). Strategi pembelajaran perlu bersifat kontekstual dan sesuai dengan pengalaman siswa agar hasil belajar lebih optimal (Melati et al., 2025).

Hasil Validasi Produk

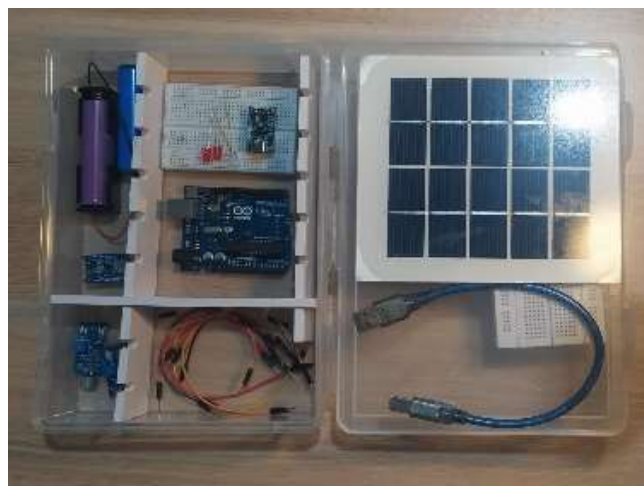
Studi ini mengembangkan media pembelajaran KIT *Smart-System* dan LKPD berbasis STEM. Bentuk dari keduanya dapat dilihat pada Gambar 3 hingga Gambar 5.



Gambar 3. Alat KIT setelah dirakit



Gambar 4. Sampul LKPD



Gambar 5. Komponen KIT dan boks

Produk akhir dari penelitian ini berupa KIT *Smart-System with Solar Panel and Sound Sensor* dan LKPD berbasis STEM. KIT dirancang modular menggunakan panel surya dan sensor suara sebagai input serta LED sebagai output, yang membantu peserta didik merakit dan memahami prinsip kerjanya secara langsung. Sementara itu, LKPD disusun untuk membimbing peserta didik mengeksplorasi konsep-konsep fisika digital seperti sistem elektronika, semikonduktor, gerbang logika, dan mikrokontroler Arduino melalui aktivitas berbasis proyek, pemecahan masalah, dan penerapan dalam konteks nyata.

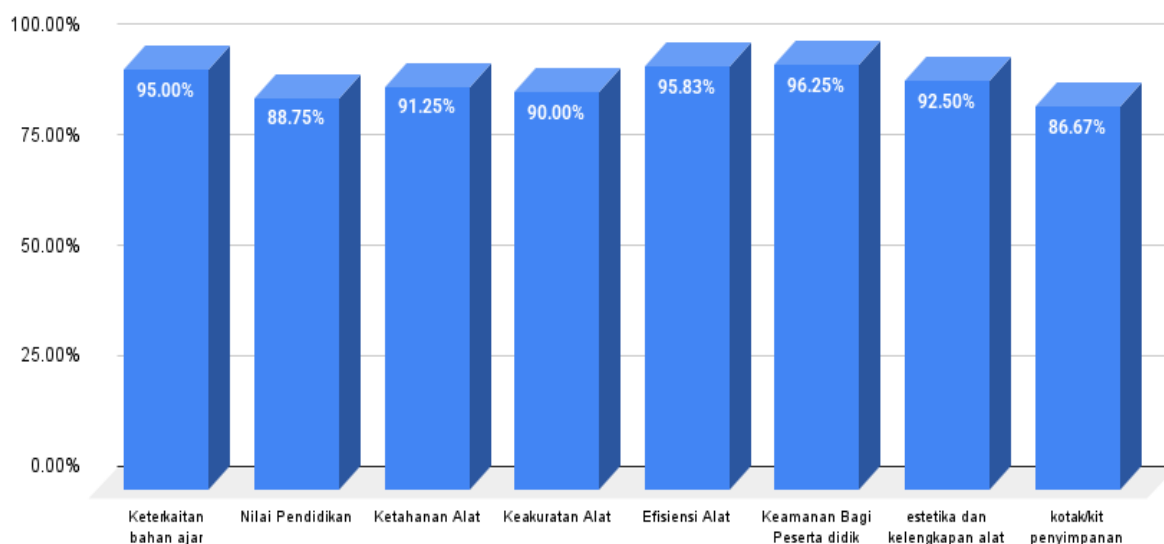
Hasil validasi ahli terhadap LKPD dilakukan menggunakan instrumen yang disusun berdasarkan tiga aspek, yaitu isi, tampilan, dan bahasa, yang mengacu pada instrumen dari Suryadi et al., (2024). Berdasarkan rekapitulasi

penilaian, aspek konten/isi pembelajaran memperoleh skor rata-rata 90,50%, aspek tampilan sebesar 92,00%, dan aspek bahasa sebesar 94,38%. Rata-rata keseluruhan penilaian berada dalam kategori sangat valid.

Tabel 6. Rekapitulasi hasil validasi LKPD

Aspek	Presentase (%)	Kategori
Konten	90,50	sangat valid
Tampilan	92,00	sangat valid
Bahasa	94,38	sangat valid

Sementara hasil validasi media (alat) dan materi pembelajaran divalidasi menggunakan instrumen yang mengacu pada (Panduan Pembuatan Alat Peraga Fisika Sederhana Untuk SMA, 2011), disajikan dalam bentuk diagram batang seperti pada Gambar 6 di bawah.

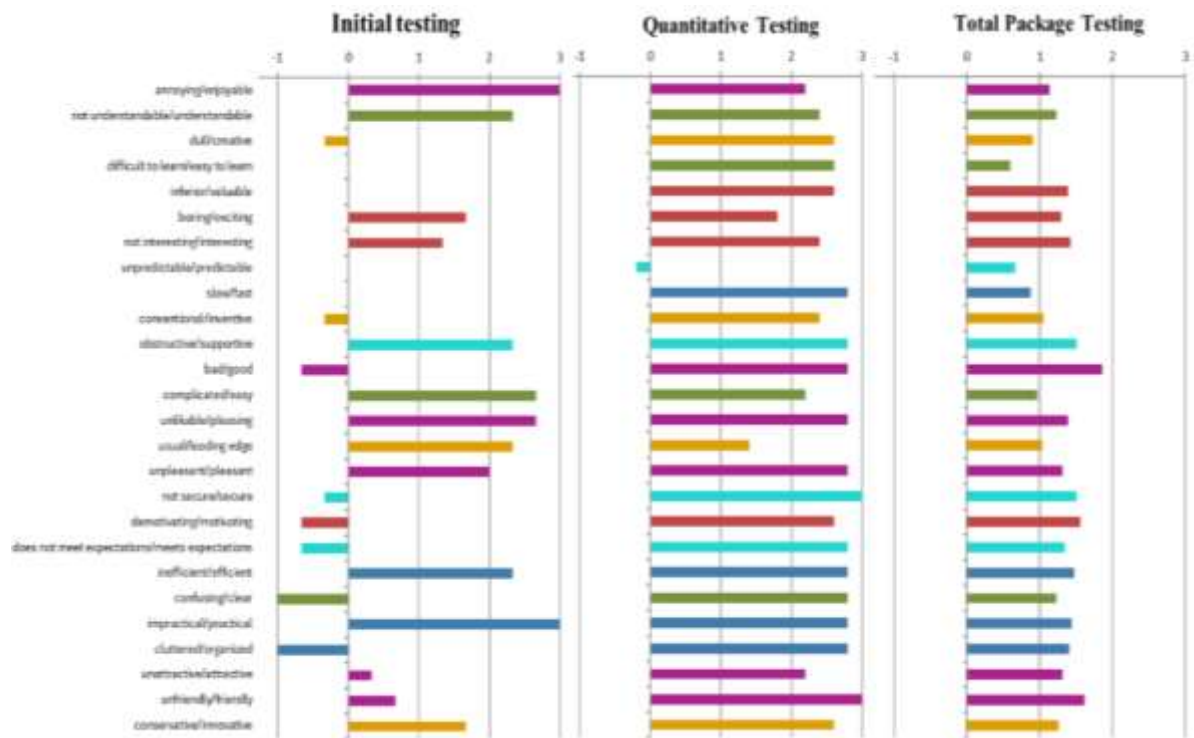


Gambar 6. Diagram hasil kelayakan media (alat) dan materi

Produk LKPD dan alat KIT dikatakan sangat layak dengan perolehan skor pada aspek keterkaitan dengan bahan ajar (95%), nilai pendidikan (89%), ketahanan (91%), keakuratan (90%), efisiensi (96%), keamanan (96%), estetika dan kelengkapan (93%), serta penyimpanan (87%). Diperoleh skor rata-rata 92%, mengindikasikan bahwa produk *Smart-System with Solar Panel and Sound* dinilai sangat layak menurut *expert judgement*, meskipun demikian, beberapa validator tetap memberikan masukan untuk perbaikan minor guna meningkatkan kualitas produk secara keseluruhan.

Hasil Uji Kepraktisan

Kepraktisan produk dianalisis berdasarkan respon peserta didik melalui tiga tahapan uji coba, yaitu *Initial Testing*, *Quantitative Testing*, dan *Total Package Testing* menggunakan instrumen *User Experience Questionnaire* (UEQ). Visualisasi lengkap mengenai persepsi pengguna terhadap media pembelajaran ditampilkan dalam Gambar 7. Grafik ini menunjukkan skor setiap item dalam skala bipolar UEQ.



Gambar 7. Perbandingan grafik hasil UEQ pada tiga tahap pengujian produk

Gambar 7. Menyajikan perbandingan grafik hasil persepsi terhadap media pembelajaran KIT *Smart-System* melalui tiga tahap pengujian, yaitu *Initial Testing*, *Quantitative Testing*, dan *Total Package Testing*, yang diukur menggunakan instrumen UEQ. Visualisasi dalam grafik mencakup 26 item pasangan kata bipolar, direpresentasikan oleh dimensi-dimensi utama dalam *user experience*, seperti daya tarik, kejelasan, efisiensi, kepraktisan, inovasi, serta motivasi (Arli & Ercan, n.d.). Nilai rata-rata dari setiap pasangan kata bipolar (misalnya: membosankan/menarik,

tidak efisien/efisien, sulit/mudah, dll.) menunjukkan peningkatan konsistensi persepsi positif dari tahap *Initial Testing*, *Quantitative Testing*, hingga *Total Package Testing*. Skor tertinggi secara konsisten berada pada aspek praktis, efisien, jelas, dan menarik, menunjukkan bahwa media pembelajaran tidak hanya diterima dengan baik sejak awal, tetapi juga mengalami penyempurnaan yang signifikan pada tahap akhir.

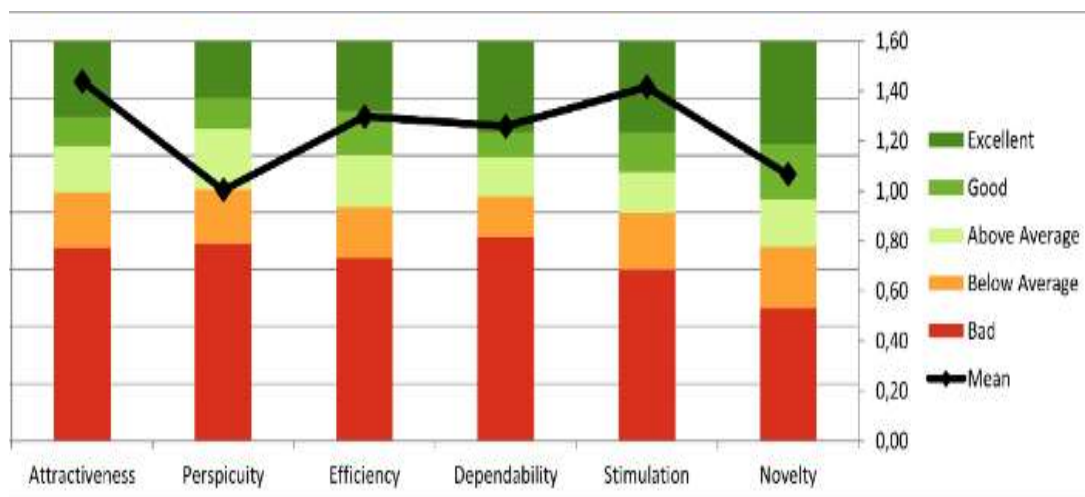
Hasil rekapitulasi menunjukkan bahwa keenam skala UEQ memperoleh skor sebagai berikut.

Tabel 7. Variansi kepraktisan media pembelajaran berdasarkan 6 skala UEQ

<i>Scale UEQ</i>	<i>Mean</i>	<i>Variance</i>
<i>Attractiveness</i>	1,44	1,11
<i>Perspicuity</i>	1,00	1,18
<i>Efficiency</i>	1,30	1,30
<i>Dependability</i>	1,26	1,08
<i>Stimulation</i>	1,42	1,53
<i>Novelty</i>	1,07	1,20

Seluruh aspek berada di atas 0,8, yang berarti media ini dinilai sangat positif oleh peserta didik (Schrepp et al., 2017; Singh & Ahmad, 2024). Respon tersebut mengindikasikan bahwa media

menarik, mudah digunakan, serta memiliki nilai kebaruan yang tinggi. Visualisasi hasil UEQ ditunjukkan dalam grafik *benchmark* pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik *benchmark* hasil UEQ

Pada fase akhir dari proses pengembangan, tahap penyebarluasan (*Disseminate*) yang bertujuan untuk menyiapkan produk agar dapat digunakan secara lebih luas dalam konteks pembelajaran (Souza & Debs, 2024; Thiagarajan et al., 1974). Penyebarluasan dilakukan setelah produk dinyatakan layak, praktis, dan efektif berdasarkan hasil validasi dan uji coba. Pada tahap ini, dilakukan finalisasi media berupa pengemasan akhir produk (*final packaging*), termasuk penyempurnaan tampilan KIT, kelengkapan instruksi penggunaan, serta revisi LKPD berdasarkan umpan balik dari pengguna.

Respon guru menunjukkan bahwa media ini cukup aplikatif dan potensial untuk digunakan dalam pembelajaran. Penyebarluasan dilakukan melalui pemberian salinan media kepada guru fisika di sekolah mitra (Suhendro et al., 2018; Thiagarajan et al., 1974). Selain itu, media yang dikembangkan turut dipresentasikan dalam ajang kejuaraan *The 4th LKTIN Smart Researcher* yang diselenggarakan oleh *Indonesian Young Scientist Association (IYSA)*. Keikutsertaan dalam kegiatan ini menjadi bagian dari upaya diseminasi akademik sekaligus memperluas kontribusi media terhadap isu-isu global seperti pembangunan berkelanjutan (SDGs).

Kedua bentuk penyebaran ini membuka ruang untuk menjangkau umpan balik dan membuka peluang kolaborasi dan potensi pengembangan media lebih luas. Demikian, tahap *disseminate* tidak hanya menjadi akhir dari proses pengembangan, tetapi juga menjadi awal dari penyebaran dan pemanfaatan media secara berkelanjutan (Pauw et al., 2015; Saputra, 2023).

Selain memperluas jangkauan pemanfaatannya, media pembelajaran ini menunjukkan potensi yang kuat dalam mendukung pencapaian Sustainable Development Goals (SDG) poin 4 (Pendidikan Berkualitas) dan poin 7 (Energi Bersih dan Terjangkau). KIT yang dikembangkan tidak hanya memfasilitasi pemahaman konsep instrumen digital secara teoritis, tetapi juga mendorong keterlibatan aktif peserta didik melalui praktik langsung. Pendekatan berbasis praktik (*hands-on learning*) ini memungkinkan peserta didik untuk terlibat dalam proyek yang berkaitan dengan teknologi energi terbarukan, seperti penggunaan panel surya mini dan sensor suara (Sampurno et al., 2025).

Keterlibatan dalam aktivitas semacam ini tidak hanya memperdalam pemahaman terhadap konsep energi, tetapi juga turut mengembangkan keterampilan abad ke-21, seperti kemampuan pemecahan masalah, literasi teknologi, dan berpikir kritis (Chen et al., 2010; Hertzog & Swart, 2017; Zabihian, 2016). Hal ini selaras dengan tujuan SDG 4 yang menekankan pentingnya peningkatan keterampilan teknis di kalangan generasi muda. Sementara itu, integrasi panel surya dalam media pembelajaran turut menumbuhkan kesadaran awal akan urgensi transisi menuju sumber energi bersih, sebagaimana ditargetkan dalam SDG 7 (Al-Zuhair et al., 2014).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan, dapat disimpulkan bahwa media pembelajaran KIT *Smart-System with Solar Panel and Sound Sensor* berbasis pendekatan

STEM telah berhasil dikembangkan melalui model 4D dan menunjukkan hasil yang sangat positif. Media dinyatakan sangat layak berdasarkan validasi ahli 92% dan CVI 1,00, praktis menurut hasil UEQ dengan skor diatas 0,8 dari semua aspek dan tertinggi pada aspek *Attractiveness* (1,44) dan *Stimulation* (1,42), serta cukup efektif dengan nilai *n-Gain* sebesar 0,62. Produk ini tidak hanya mendukung pembelajaran fisika yang kontekstual dan menyenangkan, tetapi juga berkontribusi pada pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG) 4 melalui peningkatan kualitas pendidikan, serta SDG 7 dengan pengenalan teknologi berbasis energi terbarukan. Pengembangan lebih lanjut disarankan untuk memperluas aspek proyek sistem elektronika yang lebih unik dan aplikatif, serta mempertimbangkan perluasan variabel penelitian, dan dukungan kelembagaan melalui penyediaan fasilitas dan pelatihan guru juga menjadi faktor penting dalam mendukung implementasi media pembelajaran inovatif berbasis STEM secara optimal dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulrahman, M. D., Faruk, N., Oloyede, A. A., Surajudeen-Bakinde, N. T., Olawoyin, L. A., Mejabi, O. V., Imam-Fulani, Y. O., Fahm, A. O., & Azeez, A. L. (2020). Multimedia tools in the teaching and learning processes: A systematic review. *Heliyon*, 6(11), e05312. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05312>
- Abdurrahman, A., Maulina, H., Nurulsari, N., Sukamto, I., Umam, A. N., & Mulyana, K. M. (2023). Impacts of integrating engineering design process into STEM makerspace on renewable energy unit to foster students' system thinking skills. *Heliyon*, 9(4), e15100. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15100>
- Al-Zuhair, S., Fardoun, A., Nour, M., & Abdulrazak, A. (2014). Renewable energy education for engineering freshman students. *Asian Journal of Education and e-Learning*, 2(3), 173-184.
- Ananingtyas, R. S. A., Sakti, R. E., Hakim, M. H., & Putra, F. N. (2022). Pengembangan media pembelajaran berbasis arduino pada pembelajaran STEM dalam meningkatkan literasi sains dan digital. *Briliant: Jurnal Riset dan Konseptual*, 7(1), 178. <https://doi.org/10.28926/briliant.v7i1.795>
- Arfandi, S. D., Rozaq, Y. A., Febiyanti, W., Yudhistira, W., & Rahayu, E. T. (2023). Efektifitas tactical games model dalam kurikulum merdeka pada permainan bola basket terhadap kerjasama siswa sekolah menengah kejurusan. *Jurnal Pendidikan dan Konseling*, 5(1), 2808–2813.
- Ate, O., Parno, P., & Munfaridah, N. (2025). Multirepresentation in physics learning research: a content analysis review of trends, opportunities, and challenges. *Journal of Science Education Research*, 9(1), 32–42. <https://doi.org/10.21831/jser.v9i1.72954>
- Ayubi, M. S. A., & Sudomo, R. I. (2020). Pengembangan media pembelajaran pada mata pelajaran jaringan dan dasar komputer. *Universitas IVET*, 3(2), 32–39.
- Azhari, A., Irwandi, I., Jalil, Z., Ilhamsyah, Y., Sulastri, S., Muhibuddin, M., & Rasul, M. S. (2023). Integration Merdeka Belajar concept in development STEM module for electrochemical and renewable energy at vocational school SMK SMTI Banda Aceh. *Journal of Physics: Conference Series*, 2596(1), 012076. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2596/1/012076>
- Carmo, S., Miranda, L., Silva, C., & Souza, H. (2025). Forensic toolbox: active learning strategy for promoting science education. *Journal of Chemical Education*, 102(7), 2873–2879. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c01093>
- Chamrat, S., Manokarn, M., & Thammaprateeep, J. (2019). STEM literacy questionnaire as an instrument for STEM education research field: Development, implementation, and utility. *AIP Conference Proceedings*, 2081(1), 030013. <https://doi.org/10.1063/1.5094011>
- Chen, R., Goodman, D., Izadian, A., & Cooney, E. (2010). Teaching renewable energy through hands on project based learning for engineering technology students. *2010 Annual Conference & Exposition Proceedings*, 15.1186.1-15.1186.8. <https://doi.org/10.18260/1-2--15788>
- Daryanes, F., Darmadi, D., Fikri, K., Sayuti, I., Rusandi, M. A., & Situmorang, D. D. B.

- (2023). The development of articulate storyline interactive learning media based on case methods to train student's problem-solving ability. *Heliyon*, 9(4), e15082. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15082>
- Dewi, P. Y. A., & Primayana, K. H. (2019). Effect of learning module with setting contextual teaching and learning to increase the understanding of concepts. *International Journal of Education and Learning*, 1(1), 19–26. <https://doi.org/10.31763/ijele.v1i1.26>
- Ellitan, L. (2020). Competing in the era of industrial revolution 4.0 and society 5.0. *Jurnal Maksipreneur: Manajemen, Koperasi, Dan Entrepreneurship*, 10(1), 1. <https://doi.org/10.30588/jmp.v10i1.657>
- Ernawati, I. (2017). Uji kelayakan media pembelajaran interaktif pada mata pelajaran administrasi server. *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, 2(2), 204–210. <https://doi.org/10.21831/elinvo.v2i2.17315>
- Fadilah, Z., & Lubis, P. (2018). Pengaruh metode demonstrasi dengan menggunakan alat peraga sel surya terhadap hasil belajar fisika materi listrik dinamis pada kelas XII di SMA Negeri 8 Palembang. *Jurnal Inovasi dan Pembelajaran Fisika*, 5(2), 56–61. <http://download.portalgaruda.org/article.php?article=vol%202.%20no%201>
- Fadoli, J. (2022). Exploring lesson plans through learning objectives written by english teachers. *Journal Of Education And Teaching Learning (JETL)*, 4(3), 265–273. <https://doi.org/10.51178/jetl.v4i3.917>
- Fa'izah, J. N., Romadhon, D. R., & Suwarna, I. P. (2024). Development of arduino-based inclination board on newton's laws topic. *AIP Conference Proceedings*, 3058(1), 020025. <https://doi.org/10.1063/5.0201051>
- Fukuda, kei. (2021). Chapter 2 science, technology, and innovation policy toward realization of society 5.0. *Springer*, 15–25. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2989-4_2
- Fukuda, K. (2020). Science, technology and innovation ecosystem transformation toward society 5.0. *International Journal of Production Economics*, 220, 107460. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.07.033>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hanif, Q., Budiyanto, C. W., & Yuana, R. A. (2021). Abstract thinking skills of high school students in stem learning: literature review. *Journal of Physics: Conference Series*, 1808(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1808/1/012019>
- Hennessy, S., D'Angelo, S., McIntyre, N., Koomar, S., Kreimeia, A., Cao, L., Brugha, M., & Zubairi, A. (2022). Technology use for teacher professional development in low- and middle-income countries: a systematic review. *Computers and Education Open*, 3, 100080. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2022.100080>
- Hertzog, P. E., & Swart, A. J. (2017). Design and development of practical instruction for freshmen engineering students in a renewable energy course. *2017 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 838–843. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2017.7942944>
- Hikmawati, H., Kusmiyati, K., & Sutrio, S. (2019). Keterampilan psikomotor siswa dalam melakukan kegiatan percobaan tentang suhu dan kalor menggunakan media tiga dimensi dan simulasi komputer. *Jurnal Penelitian dan Pembelajaran Fisika Indonesia*, 1(1), 1–5. <https://doi.org/10.29303/jppfi.v1i1.100>
- Ika Sari, G., Winasis, S., Pratiwi, I., Wildan Nuryanto, U., & Basrowi. (2024). Strengthening digital literacy in Indonesia: Collaboration, innovation, and sustainability education. *Social Sciences & Humanities Open*, 10, 101100. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.101100>
- Jeranoski, L., & Leitão, P. (2024). Development of STEM Curriculum for digital electronics education in secondary school. *2024 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/EDUCON60312.2024.10578762>

- Johnson, A. M., Jacovina, M. E., Russell, D. G., & Soto, C. M. (2016). Challenges and solutions when using technologies in the classroom. In S. A. Crossley & D. S. McNamara (Eds.), *Adaptive Educational Technologies for Literacy Instruction* (1st ed., pp. 13–30). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315647500-2>
- Jones, M., Geiger, V., Falloon, G., Fraser, S., Beswick, K., Holland-Twining, B., & Hatisaru, V. (2025). Learning contexts and visions for STEM in schools. *International Journal of Science Education*, 47(3), 337–357. <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2323032>
- Kandia, I. W. (2023). *The Strategic Role of Learning Media in Optimizing Student Learning Outcomes*.
- Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2022). *Permendikbudristek Nomor 16 Tahun 2022 tentang Standar Proses*. Kemendikbudristek.
- Khaffi, A., & Idris, A. R. (2020). *Rancang Bangun Modul Trainer Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*.
- Kwangmuang, P., Jarutkamolpong, S., Sangboonraung, W., & Daungtod, S. (2021). The development of learning innovation to enhance higher order thinking skills for students in Thailand junior high schools. *Heliyon*, 7(6), e07309. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07309>
- Lestari, D. A., & Suchayo, I. (2023). Pengembangan alat peraga mini sopetric (solar powered electricity) pada materi energi alternatif di kelas X SMA. *Jurnal Ilmu Pendidikan dan Pembelajaran*, 1(2), 77–90. <https://doi.org/10.58706/jipp.v1n2.p77-90>
- Luciana, L., Marlina, L., & Fathurohman, A. (2025). Python-Based Interactive Simulation in STEM E-LKPD to increase sustainability awareness on global warming material. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(3), 1158–1166. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i3.10644>
- Marar, S., Hamza, M. A., Ayyash, M., & Abu-Shaheen, A. (2023). Development and validation of an instrument to assess the knowledge and perceptions of predatory journals. *Heliyon*, 9(11), e22270. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22270>
- Maritsa, A., Hanifah Salsabila, U., Wafiq, M., Rahma Anindya, P., & Azhar Ma'shum, M. (2021). Pengaruh teknologi dalam dunia pendidikan. *Al-Mutharahah: Jurnal Penelitian dan Kajian Sosial Keagamaan*, 18(2), 91–100. <https://doi.org/10.46781/al-mutharahah.v18i2.303>
- Maslakhah, I. F., Jatmiko, B., & Sanjaya, I. G. M. (2024). Development of Physics Learning Media: A Literature Review. *IJORE : International Journal of Recent Educational Research*, 5(2), 317–333. <https://doi.org/10.46245/ijorer.v5i2.558>
- Melati, F., Jufrida, J., Syafitri, N., & Adlim, A. (2025). Comparative study of students' conceptual understanding of Newton's laws through virtual and laboratory experiments. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(1), 132–139. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i1.10738>
- Moreno Olivos, T. (2016). *Evaluación del aprendizaje y para el aprendizaje: Reinventar la evaluación en el aula*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa, División de Ciencias de la Comunicación y Diseño.
- Mupa, P., & Chinooneka, T. I. (2015). Factors contributing to ineffective teaching and learning in primary schools: Why are schools in decadence? *Journal of Education and Practice*.
- Mustakim, W., Effendi, H., Aswardi, Giatman, M., Hariyadi, & Dwi Pratiwi, W. (2024). Development of internet of things trainer kit as a learning media for digital circuit subjects in higher education. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, 20(09), 4–16. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v20i09.48349>
- Naeem, M., Ozuem, W., Howell, K., & Ranfagni, S. (2023). A Step-by-step process of thematic analysis to develop a conceptual model in qualitative research. *International Journal of Qualitative Methods*, 22, 16094069231205789. <https://doi.org/10.1177/16094069231205789>

- Nurmala, S., Triwoelandari, R., & Fahri, M. (2021). Pengembangan media articulate storyline 3 pada Pembelajaran IPA berbasis STEM untuk mengembangkan kreativitas siswa SD/MI. *Jurnal Basicedu*, 5(6), 5024–5034. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v5i6.1546>
- Nurwahidah, A., Qolbi, W. N., Putra, R. M., & Muhajir, S. N. (2021). Persepsi siswa dan guru terhadap penggunaan laboratorium virtual dalam pembelajaran fisika. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika*, 1(2), 54–61. <https://doi.org/10.52434/jpif.v1i2.1482>
- Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Atas. (2011). *Panduan pembuatan alat peraga fisika sederhana untuk SMA*. Direktorat Jenderal Pendidikan Menengah, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Pauw, J., Gericke, N., Olsson, D., & Berglund, T. (2015). The Effectiveness of Education for Sustainable Development. *Sustainability*, 7(11), 15693–15717. <https://doi.org/10.3390/su71115693>
- Permatasari, A., Yuberti, Y., & Anggraini, W. (2019). Pengembangan lampu sensor berbasis arduino uno sebagai alat peraga fisika. *Indonesian Journal of Science and Mathematics Education*, 2(3), 380–387. <https://doi.org/10.24042/ij sme.v2i3.4364>
- Pratama, F. I., & Rohaeti, E. (2024). How does “chemistry challenge” e-book affect the chemical literacy profile? A study to test learning media Effectiveness. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(5), 2253–2260. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i5.7018>
- Pratama, F. I., Rohaeti, E., & Laksono, E. W. (2025). Building sustainable education with the literacy and research-oriented cooperative problem-based learning: A bridge in the activeness of chemistry education students. *Jurnal Pendidikan Matematika Dan Sains*, 13(Special issue), 61–68. <https://doi.org/10.21831/jpms.v13iSpecia1 issue.88392>
- Republik Indonesia. (2021). Peraturan pemerintah nomor 57 tahun 2021 tentang standar nasional pendidikan. *Sekretariat Negara*.
- Rizk, J., & Hillier, C. (2022). Digital technology and increasing engagement among students with disabilities: Interaction rituals and digital capital. *Computers and Education Open*, 3, 100099. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2022.100099>
- Rogosic, R., Heidt, B., Passariello-Jansen, J., Björnör, S., Bonni, S., Dimech, D., Arreguin-Campos, R., Lowdon, J., Jiménez Monroy, K. L., Caldara, M., Eersels, K., Van Grinsven, B., Cleij, T. J., & Diliën, H. (2021). Modular Science Kit as a support platform for STEM learning in primary and secondary school. *Journal of Chemical Education*, 98(2), 439–444. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01115>
- Saa, S. (2024). Merdeka curriculum: adaptation of indonesian education policy in the digital era and global challenges. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(3), e07323. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n3-168>
- Sampurno, Y. G., Fauzi, N. A., Wahyudi, K. S., & Imawan, M. (2025). Pelatihan teknologi hijau: Pengenalan sepeda motor listrik dan konversi sepeda motor bensin menjadi sepeda motor listrik. *Journal Bulletin of Community Services* 1(1), 3026-4994. <https://doi.org/10.35882/bp.v2i1.15>
- Saputra, I. G. P. E. (2023). Pengembangan media pembelajaran fisika berbantuan lectora inspire untuk meningkatkan hasil belajar fisika siswa di era kurikulum merdeka. *Jurnal Penelitian Pendidikan Fisika*, 8(4), 229–239. <https://doi.org/10.36709/jipfi.v8i4.92>
- Sari, P. P., Luardini, M. A., & Asi, N. (2020). An analysis of learning objective in english teacher lesson plans based on abcd aspect. *Jurnal Pendidikan Bahasa Inggris*, 8(3), 60–00.
- Schrepp, M., Hinderks, A., & Thomaschewski, J. (2017). Construction of a benchmark for the user experience questionnaire (UEQ). *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 4(4), 40. <https://doi.org/10.9781/ijimai.2017.445>
- Sesmiyanti, S., Antika, R., & Suharni, S. (2019). N-Gain algorithm for analysis of basic reading. *Proceedings of the Proceedings of the 2nd International Conference on Language, Literature and Education, ICLLE 2019, 22-23 August, Padang, West Sumatra, Indonesia*.

- <https://doi.org/10.4108/eai.19-7-2019.2289527>
- Singh, G., & Ahmad, F. (2024). An interactive augmented reality framework to enhance the user experience and operational skills in electronics laboratories. *Smart Learning Environments*, 11(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00287-1>
- Sofirin, M., Rahim, A., & Najib, K. H. (2025). *Development of Interactive Flash Card Media in Cultural Diversity Learning*.
- Souza, A. S. C. D., & Debs, L. (2024). Concepts, innovative technologies, learning approaches and trend topics in education 4.0: A scoping literature review. *Social Sciences & Humanities Open*, 9, 100902. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.100902>
- Sugiyono. (2019). Metode penelitian & pengembangan research and development. *Alfabeta*.
- Suhendro, S., Surya, E., Rajagukguk, W., & Syahputra, E. (2018). Development of learning instrument based on scientific learning to improve students' mathematical problem solving and self-regulated learning ability at mts. sinar islami bingai. *American Journal of Educational Research*, 6(10), 1430–1437. <https://doi.org/10.12691/education-6-10-14>
- Suryadi, A., Lidya, N., Habibah, H., & Suwarna, I. P. (2024). Study on the development and implementation of an interdisciplinary solar panel project to enhance students' interest in STEM. *Research and Development in Education (RaDeN)*, 4(1), 415–427. <https://doi.org/10.22219/raden.v4i1.32881>
- Suwarna, I. P. (2016). Pengembangan instrumen ujian komprehensif mahasiswa melalui computer based test pada program studi pendidikan fisika. *Pusat Penelitian Dan Penerbitan (PUSLITPEN)*.
- Tarigan, F. K. Y. B., Fadieny, N., & Safriana, S. (2024). Pengembangan media pembelajaran fisika berbasis stem untuk meningkatkan kreativitas siswa: sebuah tinjauan literatur sistematis. *JURNAL Pendidikan dan Ilmu Fisika*, 4(2), 150–160. <https://doi.org/10.52434/jpif.v4i2.41398>
- Thiagarajan, S., Semmel, D. S., & Semmel, M. I. (1974). *Instructional Development for Training Teachers of Exceptional Children: A Sourcebook*. Indiana University. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED090725.pdf>
- Tina, Tambusai, A., & Hasibuan, A. L. (2022). Improving teachers' capabilities in the using of the teaching aids (props) through academic supervision at gema bukit barisan private SMP, tanjung morawa district. *International Journal of Educational Research Excellence (IJERE)*, 1(1), 08–12. <https://doi.org/10.55299/ijere.v1i1.17>
- Verawati, Y., Hamdani, D., & Setiawan, I. (2022). Pengembangan alat peraga pada materi energi dengan menggunakan solar cell, sensor ultrasonik dan light dependent resistor berbasis arduino uno. *Jurnal Ilmu Pembelajaran Fisika*, 1(2).
- Windayani, F., & Pertiwi, K. R. (2023). Development of scientific inquiry-based LKPD to improve students critical thinking ability and collaboration skills. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(9), 7203–7209. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i9.4453>
- Yusra, R. A., Kusumah, F. H., & Suryadi, A. (2025). Pengaruh PjBL-STEM terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis pada materi energi terbarukan dalam mendukung pendidikan yang berkualitas. *Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains*, 3(Special Issue), 26–37. https://doi.org/10.21831/jpms.v13iSpecia1_issue.86537
- Zabihian, F. (2016). Introduction of renewable energy to high school students in a summer camp: hands-on experimental approach. *2016 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*, 25463. <https://doi.org/10.18260/p.25463>

PROFIL SINGKAT

Siti Humairoh, merupakan mahasiswa semester akhir program studi Pendidikan Fisika UIN Syarif Hidayatullah Jakarta. Dapat dihubungi melalui email: humairohsihum@gmail.com

Dr. Ahmad Suryadi, M.Pd., merupakan dosen aktif di program studi Pendidikan Fisika

Universitas Negeri Makassar Beliau dapat dihubungi melalui email: ahmads@uinjkt.ac.id

Devi Solehat, M.Pd., merupakan dosen aktif di program studi Pendidikan Fisika UIN Syarif Hidayatullah Jakarta. Beliau dapat

dihubungi melalui email: devi.sholehat@uinjkt.ac.id

Muhamad Ihsanuddin, S.Pd., merupakan guru fisika di salah satu madrasah aliyah di Banten. Beliau dapat dihubungi melalui email: ihsan.upi@gmail.com