JagoMIPA: Jurnal Pendidikan Matematika dan IPA
p-ISSN: 2797-6475, e-ISSN: 2797-6467
Volume 6, nomor 4, 2026, hal. 2684-2698
Doi: https://doi.org/10.53299/jagomipa.v6i4.5428

Profil Literasi Lingkungan Siswa SMA dan Analisis Kebutuhan Kit Eksperimen Fisika Berbasis *Internet of Things* (IoT)

Putri Anisah, Hamdi Akhsan*, Melly Ariska
Universitas Sriwijaya, Palembang, Indonesia

*Corresponding Author: hamdi.akhsan@fkip.unsri.ac.id
Dikirim: 03-09-2026; Direvisi: 12-09-2026; Diterima: 17-09-2026

Abstrak: Integrasi pendidikan lingkungan ke dalam pembelajaran fisika merupakan strategi krusial untuk mengatasi krisis iklim global, namun efektivitasnya sering terhambat oleh kesenjangan antara pengetahuan teoritis dan keterampilan analitis siswa. Penelitian ini bertujuan menganalisis profil literasi lingkungan siswa SMA yang mencakup dimensi pengetahuan, sikap, keterampilan, dan perilaku serta mengidentifikasi kebutuhan kit eksperimen fisika berbasis *Internet of Things* (IoT) pada materi suhu dan kalor. Penelitian ini menggunakan desain deskriptif eksploratif dengan pendekatan kuantitatif-kualitatif sekuensial terhadap 50 siswa SMAS Sandika Sukajadi yang terbagi dalam Fase E (kelas X, n=14) dan Fase F (Kelas XI, n=19 dan Kelas XII, n=17) yang dipilih menggunakan teknik purposive sampling berdasarkan perwakilan jenjang kelas dan fase kurikulum merdeka. Data dikumpulkan menggunakan angket terstruktur lima dimensi dan pertanyaan terbuka, kemudian dianalisis menggunakan statistik deskriptif, uji korelasi *Pearson*, estimasi reliabilitas internal. Hasil penelitian menunjukkan capaian tertinggi berada pada dimensi pengetahuan (83,7%) dan perilaku (81,7%), sedangkan dimensi keterampilan lingkungan menjadi capaian terendah (76,4%). Hasil temuan diperoleh bahwa terdapat *knowledge-skill gap* yaitu pengetahuan konsep fisika lingkungan belum sejalan dengan kemampuan interpretasi *data real time* dan penyusunan solusi berbasis bukti (r=-0,17). Sebaliknya, keterampilan lingkungan berkorelasi sangat kuat dengan kebutuhan kit IoT (r=0,72) dan perilaku pro-lingkungan (r=0,68). Analisis tematik mengungkapkan bahwa media pembelajaran yang masih konvensional dan pengalaman siswa terhadap sensor IoT masih sangat terbatas. Berdasarkan temuan tersebut, dirumuskan rekomendasi desain kit eksperimen fisika berbasis IoT yang dilengkapi *dashboard* grafik *real-time*, RPM, dan skenario diferensiasi pembelajaran untuk Fase E dan Fase F guna mentransformasi pengetahuan deklaratif menjadi tindakan pro-lingkungan berbasis data.

Kata Kunci: Literasi Lingkungan; *Internet of Things* (IoT); Kit Eksperimen Fisika.

Abstract: Integrating environmental education into physics learning is a crucial strategy for addressing the global climate crisis; however, its effectiveness is often hindered by the gap between students' theoretical knowledge and analytical skills. This study aims to analyze high school students' environmental literacy profile encompassing knowledge, attitudes, skills, and behavior and to identify the needs for developing an Internet of Things (IoT)-based physics experiment kit. A descriptive exploratory design with a sequential quantitative-qualitative approach was employed involving 50 students from SMAS Sandika Sukajadi across Phase E (Grade X, n=14) and Phase F (Grade XI, n=19; Grade XII, n=17) selected through purposive sampling based on class level representation and Merdeka curriculum phases. Data were gathered using a five-dimension structured questionnaire and open-ended items, then analyzed through descriptive statistics, Pearson correlation, internal consistency reliability estimation and thematic coding. Findings indicate that the highest achievements were observed in knowledge (83.7%) and behavior (81.7%), whereas environmental skills recorded the lowest score (76.4%). A clear knowledge-skill gap emerged, in which theoretical physics knowledge did not translate into real-time data interpretation or evidence-based problem solving (r = -

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

0.17). Conversely, environmental skills strongly correlated with IoT kit needs (r = 0.72) and pro-environmental behavior (r = 0.68). Thematic analysis revealed that existing instructional media remain conventional, with limited hands-on IoT exposure. Based on these findings, pedagogical and technical specifications for an IoT-based physics experiment kit featuring real-time data visualization and differentiated inquiry modules across Phase E and F are recommended.

Keywords: Environmental Literacy; Internet of Things (IoT); Physics Experiment Kit.

PENDAHULUAN

Krisis lingkungan global seperti pemanasan global, perubahan iklim mikroklimat, dan penurunan kualitas udara telah menjadi tantangan terberat peradaban modern (Afifa et al., 2024). Pendidikan memegang peranan strategis dalam membangun kesadaran dan kapasitas masyarakat untuk memitigasi dampak kerusakan ekologis melalui kerangka *Education for Sustainable Development* atau ESD (Oe et al., 2022). Dalam konteks pendidikan menengah, fisika merupakan salah satu disiplin ilmu yang memiliki keterkaitan konseptual paling erat dengan fenomena lingkungan, khususnya melalui domain termodinamika, perpindahan kalor, neraca energi, dan radiasi matahari (Salmoiraghi et al., 2025). Kendati demikian, pembelajaran fisika di sekolah acap kali disajikan secara abstrak, terisolasi dari realitas ekologis, serta didominasi oleh manipulasi matematis prosedural tanpa penanaman makna konseptual yang mendalam (Azizah & Suhardi, 2026; Candia et al., 2025).

Penyajian materi fisika yang lepas dari konteks lingkungan berpotensi menghambat pembentukan literasi lingkungan (*environmental literacy*) siswa secara utuh. Literasi lingkungan didefinisikan oleh *North American Association for Environmental Education* (NAAEE) sebagai konstruksi multidimensi yang mencakup pengetahuan ekologis, sikap peduli lingkungan, keterampilan kognitif dan analitis, serta perilaku bertanggung jawab terhadap lingkungan (Lovren & Jablanovic, 2023; Napitupulu et al., 2025; Yusliani & Desnita, 2021). Siswa yang memiliki literasi lingkungan memadai tidak hanya mampu memahami teori saintifik, tetapi juga sanggup mengidentifikasi permasalahan lingkungan di sekitarnya, menganalisis data empiris, dan merumuskan solusi berbasis bukti atau *evidence-based solutions* (Yeh et al., 2022)

Sejumlah studi nasional dan internasional menemukan adanya fenomena knowledge-action gap atau *knowledge-skill* gap dalam pendidikan lingkungan (Bottin et al., 2026; Braun & Dierkes, 2019; Yang et al., 2025; Zárate Rueda et al., 2023). Siswa kerap menunjukkan tingkat pengetahuan konseptual yang tinggi mengenai isu-isu lingkungan global, tetapi gagap ketika diminta mengukur, menafsirkan, dan mengorelasikan parameter fisik lingkungan di sekitarnya (Ningsih et al., 2026; Putri et al., 2025; Ramadhani Dar et al., 2025). Di Indonesia, penelitian Desnita et al. (2023) dan Erwinsyah (2022) mengonfirmasi bahwa tingginya pemahaman teori fisika lingkungan tidak otomatis berbanding lurus dengan kemampuan tindakan pro-lingkungan secara sistematis. Hal ini mengindikasikan adanya ruang kosong (gap) dalam proses pedagogis, di mana pengalaman belajar siswa belum memfasilitasi jembatan antara teori abstrak dan investigasi empiris kontekstual (Ramsaroop et al., 2024).

Seiring berkembangnya Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0, integrasi teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan paradigma baru dalam praktikum

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

fisika saintifik (Nadzirin Anshari Nur et al., 2024). Teknologi IoT memungkinkan akuisisi data variabel fisik seperti suhu, kelembapan relatif, radiasi, dan konsentrasi gas secara otomatis, presisi, dan dapat ditayangkan langsung (real-time data visualization) pada dashboard digital (Nasution et al., 2025). Pembelajaran berbasis sensor IoT bertindak sebagai sarana data-driven inquiry, di mana siswa tidak hanya menjadi penerima informasi pasif, melainkan peneliti muda yang mengumpulkan, mengolah, dan menafsirkan grafik dinamika lingkungan di sekitar sekolah mereka (Gendreau Chakarov et al., 2021).

Meskipun potensi IoT sangat besar, implementasinya dalam praktikum fisika berkonteks lingkungan di tingkat Sekolah Menengah Atas (SMA) masih tergolong terbatas dan belum terpetakan dengan baik (Nasution et al., 2025). Sebagian besar pengembangan media IoT hanya berfokus pada keandalan teknis alat (*hardware engineering*) tanpa didahului oleh analisis kebutuhan pedagogis (*need analysis*) dan analisis profil literasi lingkungan siswa secara komprehensif (Ga et al., 2024). Tanpa basis analisis kebutuhan yang kuat, kit IoT yang dikembangkan berisiko menjadi tidak ramah pengguna (*user-unfriendly*), menambah beban kognitif (*cognitive overload*), atau tidak sesuai dengan capaian pembelajaran fase kurikulum yang berlaku.

Urgensi penelitian ini terletak pada belum adanya studi diagnostik komprehensif yang secara simultan memetakan profil empiris literasi lingkungan siswa SMA pada lima dimensi (pengetahuan, sikap, keterampilan, perilaku, dan kebutuhan kit IoT) serta menganalisis korelasi antar dimensi tersebut yang digunakan sebagai landasan perancangan kit eksperimen fisika berbasis IoT yang kontekstual, keunikan penelitian ini dibandingkan studi pendahuluan (Nadzirin Anshari Nur et al., 2024; Nasution et al., 2025) adalah integrasi antara analisis knowledge-skill gap berbasis data empiris siswa dengan rekomendasi diferensiasi desain instruksional untuk Fase E dan Fase F dalam Kurikulum Merdeka, sehingga kit IoT yang dihasilkan tidak hanya andal secara teknis tapi juga adaptif secara pedagogis.

Oleh karena itu, sebelum merancang suatu kit praktikum fisika berbasis IoT, diperlukan penelitian diagnostik mendalam untuk memetakan profil empiris literasi lingkungan siswa pada tiap dimensinya serta menganalisis kebutuhan belajar mereka secara nyata. Penelitian ini berfokus pada siswa SMAS Sandika Sukajadi sebagai subjek kajian, dengan tujuan untuk menganalisi profil empiris lima dimensi literasi lingkungan dan kebutuhan pembelajaran fisika siswa (pengetahuan, sikap, keterampilan, perilaku dan analisis kebutuhan kit IoT, memetakan miskonsepsi dan hambatan analitis siswa terkait materi suhu dan kalor dalam konteks fenomena lingkungan, menganalisis korelasi antar-dimensi literasi lingkungan untuk membedah dinamika pembentukan karakter pro lingkungan yang berbasis data fisika, menganalisis profil spesifik siswa berdasarkan tingkatan fase E dan fase F sebagai dasar diferensiasi desain instruksional, serta merumuskan rekomendasi spesifikasi pedagogis dan Teknik pengembangan kit eksperimen fisika berbasis IoT yang kontekstual dan efektif.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain deskriptif eksploratif dengan pendekatan campuran (*mixed-methods*) kuantitatif-kualitatif sekuensial (*sequential explanatory design*). Pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengukur persentase capaian

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

dimensi literasi lingkungan, hubungan korelasional antar-dimensi, serta estimasi reliabilitas instrumen. Pendekatan kualitatif digunakan untuk menggali deskripsi mendalam mengenai hambatan konseptual, pengalaman praktikum terdahulu, dan harapan siswa terhadap pembelajaran fisika berbasis teknologi melalui jawaban terbuka.

Subjek Penelitian

Subjek penelitian adalah siswa SMAS Sandika Sukajadi, Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan. Sampel terdiri dari 50 responden siswa yang dipilih menggunakan teknik purposive sampling berdasarkan keterwakilan jenjang kelas dan fase dalam Kurikulum Merdeka. Distribusi demografis sampel disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Distribusi Demografis Responden Penelitian (N = 50)

Kategori Demografis	Sub-Kategori	Frekuensi (n)	Persentase (%)
Tingkat Kelas / Fase	Kelas X / Fase E	14	28,0%
	Kelas XI / Fase F	19	38,0%
	Kelas XII / Fase F	17	34,0%
Jenis Kelamin	Perempuan	35	70,0%
	Laki-laki	15	30,0%

Pelaksanaan penelitian ini telah memperoleh izin dari pihak SMAS Sandika Sukajadi. Seluruh responden turut serta secara sukarela dan telah memberikan persetujuan (*informed consent*), baik dari siswa maupun wali/orang tua siswa sebelum proses pengisian angket dilakukan.

Instrumen Pengumpulan Data

Pengumpulan data menggunakan angket terstruktur yang dikembangkan berdasarkan sintesis kerangka literasi lingkungan NAAEE (Hollweg, 2011) dan indikator analisis kebutuhan media pembelajaran berbasis teknologi. Angket mencakup lima dimensi utama sebagai berikut.

Tabel 2. Kisi-Kisi Instrumen Penelitian

Dimensi	Jumlah Butir	Skala Pengukuran	Indikator yang diukur
Pengetahuan lingkungan	8	Benar salah dikotomis (1 = benar, 0 = salah)	Pemahaman konsep fisika lingkungan (efek rumah kaca, pemanasan global, arah perpindahan kalor, energi surya, kalor jenis, mikroklimat, dan kualitas udara)
Sikap Lingkungan	8	Skala Likert 4 tingkat (STS=1, TS=2, S=3, SS=4)	Kepedulian dan keterbukaan konseptual terhadap isu lingkungan
Keterampilan Lingkungan	6	Skala Likert 1–4	Kemampuan membaca data, mengaitkan data dengan fisika, mengidentifikasi penyebab, merumuskan solusi, berkolaborasi, dan berkomunikasi
Perilaku lingkungan	8	Skala Likert 1–4	Kebiasaan efisiensi energi, pengelolaan sampah, dan tindakan komunikasi ilmiah
Analisis Kebutuhan kit IoT	7	Skala Likert 1–4	Kebutuhan terhadap alat pemantauan berbasis sensor, data *real-time*, RPM, dan kebiasaan *platform* digital

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

Dimensi	Jumlah Butir	Skala Pengukuran	Indikator yang diukur
Pertanyaan Terbuka	3	Uraian	Pandangan kualitatif terkait kedalaman materi lingkungan, pengalaman penggunaan sensor/IoT, dan harapan praktikum

Teknik Analisis Data

Data kuantitatif dianalisis secara statistik menggunakan bantuan perangkat lunak SPSS dan *Python (Seaborn/Matplotlib*). Untuk dimensi non-pengetahuan, skor mentah dikonversi menjadi persentase skor maksimum menggunakan fungsi berikut:

$$\%skor = \frac{X}{X_{max}} . 100\%$$

Dengan nilai Xmaks = 4 untuk skala likert. Hubungan antar-dimensi diuji menggunakan koefisien korelasi Pearson (r). Reliabilitas internal diestimasi menggunakan Kuder-Richardson 20 (KR-20) untuk data dikotomis pengetahuan dan *Cronbach's Alpha* (α) untuk instrumen bertipe Likert. Adapun jawaban terbuka siswa dianalisis menggunakan metode analisis tematik (*thematic analysis*) melalui tahapan reduksi data, pengodean (*coding*), kategorisasi tematik, dan verifikasi kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pelaksanaan Pengumpulan Data

Pengumpulan data lapangan dilaksanakan secara langsung di SMAS Sandika Sukajadi dengan melibatkan 50 siswa dari tiga tingkatan kelas (X, XI, dan XII). Proses pengisian angket dilakukan di ruang kelas dengan pengawasan langsung oleh penulis untuk memastikan pemahaman siswa terhadap setiap butir pertanyaan. Sebelum pengisian angket, penulis memberikan penjelasan singkat mengenai tujuan penelitian, cara mengisi instrumen dan menjamin kerahasiaan data. Khusus pada dimensi pengetahuan yang menggunakan format dikotomis (benar salah) dan dimensi keterampilan yang memerlukan interpretasi konteks fisika lingkungan, penulis memberikan pendampingan tambahan untuk meminimalisasi kesalahpahaman. Seluruh siswa menunjukan antuasiasme tinggi selama proses pengumpulan data. Kegiatan pelaksanaan pengumpulan data di kelas disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Dokumentasi Pelaksanaan Pengumpulan Data Literasi Lingkungan Siswa di SMAS Sandika Sukajadi

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

Profil Umum Literasi Lingkungan dan Analisis Kebutuhan

Berdasarkan pengolahan data angket terhadap 50 responden siswa SMAS Sandika Sukajadi, diperoleh gambaran umum capaian rata-rata dan persentase terhadap skor maksimum pada kelima dimensi penelitian, sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Profil Capaian Rata-Rata dan Persentase Skor Maksimum per Dimensi

Dimensi	Jumlah Butir	Rerata Skor ($\bar{X}$)	Persentase Skor Maksimum (%)	Kategori
Pengetahuan Lingkungan	8	0,84*	83,70%	Tinggi
Sikap Lingkungan	8	3,21	80,37%	Baik
Keterampilan Lingkungan	6	3,05	76,36%	Cukup / Rendah
Perilaku Lingkungan	8	3,27	81,66%	Tinggi
Analisis Kebutuhan Kit IoT	7	3,21	80,28%	Tinggi

*Keterangan: pada Dimensi Pengetahuan, rerata skor $\bar{X}$ dihitung dari skala biner (0–1).

Data pada Tabel 3 memperlihatkan bahwa Pengetahuan Lingkungan (83,70%) dan Perilaku Lingkungan (81,66%) siswa memiliki capaian tertinggi. Sementara itu, Keterampilan Lingkungan berada pada tingkat paling rendah (76,36%). Temuan ini mengindikasikan adanya kesenjangan (gap) mendasar: siswa mengetahui konsep-konsep lingkungan dan memiliki kebiasaan dasar yang baik, tetapi belum memiliki keterampilan analitis yang memadai dalam mengolah data dan memecahkan masalah lingkungan secara ilmiah.

Analisis Dimensi Pengetahuan Lingkungan dan Miskonsepsi

Analisis butir soal pengetahuan mengidentifikasi pola pemahaman serta miskonsepsi siswa pada materi fisika lingkungan. Pada capaian tinggi, siswa sangat memahami konsep dasar hubungan gas rumah kaca dengan pemanasan global (95,7%), arah perpindahan kalor secara teoritis (95,7%), energi surya sebagai energi terbarukan (93,5%), serta penerapan kalor jenis dalam menjelaskan fenomena lingkungan (87,0%). Sebaliknya, pada capaian rendah, pernyataan terkait arah perpindahan kalor dalam soal aplikasi kontekstual hanya dicapai oleh 63,0% siswa, dan sekitar 37,0% siswa mengalami miskonsepsi bahwa kalor dapat berpindah secara alami dari benda bersuhu rendah ke benda bersuhu tinggi. Selain itu, butir hubungan kualitas udara dengan konsep fisika (kalor, suhu, dan energi) hanya mencapai 67,4%, dan sekitar 32,6% siswa belum mampu melihat bahwa kualitas udara merupakan fenomena fisik yang berkaitan dengan sirkulasi udara, radiasi, dan perubahan mikroklimat.

Analisis Dimensi Sikap Lingkungan

Sikap lingkungan siswa berada pada kategori baik (80,37%). Skor tinggi ditemukan pada keyakinan bahwa tindakan kecil dapat berdampak pada lingkungan sekolah (82,6%), ketertarikan jika materi suhu dan kalor dikaitkan dengan lingkungan sekitar (81,5%), serta perasaan perlu mempelajari isu lingkungan dalam fisika (81,0%). Skor terendah ditemukan pada tingkat kerisauan siswa saat mengetahui peningkatan suhu bumi global, yang hanya mencapai 76,1%. Hal ini mengindikasikan bahwa kepedulian siswa masih bersifat abstrak dan belum terbangun keterikatan

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

emosional (emotional engagement) karena belum pernah mengamati perubahan mikroklimat secara langsung.

Analisis Dimensi Keterampilan Lingkungan

Keterampilan lingkungan merupakan dimensi terlemah (76,36%). Rincian capaian per sub-keterampilan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rincian Capaian Dimensi Keterampilan Lingkungan Siswa

Sub-Keterampilan Lingkungan	Persentase Skor Maksimum (%)	Kategori
Membaca dan menafsirkan data lingkungan	74,50%	Terendah
Mengaitkan data dengan konsep fisika	74,50%	Terendah
Mengidentifikasi penyebab masalah lingkungan	77,20%	Sedang
Memberikan usulan/rekomendasi berbasis data	76,60%	Sedang
Bekerja sama dalam pengamatan	79,90%	Tinggi
Menyampaikan hasil pengamatan secara ilmiah	75,50%	Rendah

Kelemahan utama siswa terletak pada kemampuan membaca data grafik/sensor (74,5%) dan mengaitkan angka pengukuran dengan hukum-hukum fisika (74,5%). Siswa mampu membaca angka pada layar, tetapi tidak mampu menjelaskan makna fisik di balik kenaikan suhu atau perubahan kelembapan tersebut.

Analisis Dimensi Perilaku Lingkungan dan Kebutuhan Kit IoT

Pada dimensi Perilaku Lingkungan (81,66%), perilaku rutin seperti menghemat air dan listrik (85,3%), mematikan lampu (84,2%), serta membuang sampah pada tempatnya (84,2%) tergolong sangat baik. Namun, perilaku berbasis bukti ilmiah seperti menggunakan pengetahuan fisika untuk mengedukasi orang lain (77,7%) dan mengurangi barang sekali pakai (78,8%) masih relatif rendah. Pada dimensi Analisis Kebutuhan Kit IoT (80,28%), siswa memberikan dukungan sangat tinggi terhadap pembelajaran fisika berbasis lingkungan nyata (84,2%), ketertarikan menggunakan pemantauan sensor (81,0%), kebutuhan data real-time sekolah (79,9%), dan modul praktikum literasi lingkungan (79,9%). Namun, kebiasaan menggunakan platform digital/dashboard interaktif masih tergolong rendah (78,3%), menunjukkan pentingnya desain antarmuka (user interface) yang sederhana.

Analisis Tematik Jawaban Terbuka

Hasil analisis kualitatif terhadap jawaban terbuka siswa menghasilkan empat tema utama yang diperkuat oleh perspektif teoretis pendidikan lingkungan. Pertama, pembelajaran lingkungan belum mendalam. Siswa menyatakan isu lingkungan lebih banyak dibahas secara kualitatif di mata pelajaran Biologi atau Geografi, sedangkan dalam pelajaran Fisika materi lingkungan jarang dimunculkan dan pembelajaran lebih terfokus pada penghafalan rumus matematis. Temuan ini sejalan dengan kritik Ndzimbomvu et al. (2021) yang menunjukkan bahwa fragmentasi kurikulum menyebabkan siswa memandang isu lingkungan sebagai domain biologi/geografi semata, bukan sebagai fenomena fisika yang dapat diinvestigasi secara kuantitatif. Kedua, media pembelajaran masih konvensional. Media yang sering digunakan sebatas *slide* presentasi, gambar, dan video YouTube, sementara praktikum pengukuran suhu lingkungan nyata menggunakan instrumen sensor belum pernah

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

dilakukan. Hal ini konsisten dengan temuan El Azzouzi et al. (2023) bahwa ketiadaan media kontekstual memperlemah keterlibatan kognitif siswa dalam pendidikan lingkungan. Ketiga, pengalaman IoT sangat terbatas. Mayoritas siswa belum pernah mengoperasikan sensor digital atau sistem IoT secara langsung; pengetahuan IoT siswa sebatas menonton di media sosial atau melihat termometer digital medis. Keempat, harapan pembelajaran. Siswa menginginkan praktikum berbasis proyek nyata, penggunaan alat teknologi canggih tetapi mudah dioperasikan, serta kegiatan observasi lapangan di area sekolah (misalnya membandingkan suhu lapangan aspal dengan area pepohonan). Harapan ini mencerminkan prinsip *authentic inquiry* yang ditekankan oleh Zhao (2026) sebagai kunci transformasi literasi sains siswa.

Profil Literasi Lingkungan Berdasarkan Tingkat Kelas/Fase

Profil capaian dimensi literasi lingkungan pada tiap tingkat kelas/fase disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Capaian Literasi Lingkungan dan Kebutuhan per Kelas/Fase (%)

Dimensi	Kelas X / Fase E (n=14)	Kelas XI / Fase F (n=19)	Kelas XII / Fase F (n=17)
Pengetahuan	80,70%	80,50%	89,00%
Sikap	76,80%	83,20%	79,80%
Keterampilan	80,30%	78,50%	71,60%
Perilaku	83,20%	85,40%	76,60%
Kebutuhan Kit IoT	86,00%	80,80%	76,00%

Pola menarik terlihat pada Tabel 5: siswa Kelas XII memiliki pengetahuan lingkungan paling tinggi (89,0%), tetapi memiliki keterampilan lingkungan paling rendah (71,6%). Sebaliknya, siswa Kelas X (Fase E) memiliki tingkat kebutuhan tertinggi terhadap kit eksperimen IoT (86,0%), diikuti oleh perilaku yang cukup baik (83,2%). Siswa Kelas XI menunjukkan keseimbangan terbaik dengan sikap (83,2%) dan perilaku (85,4%) tertinggi.

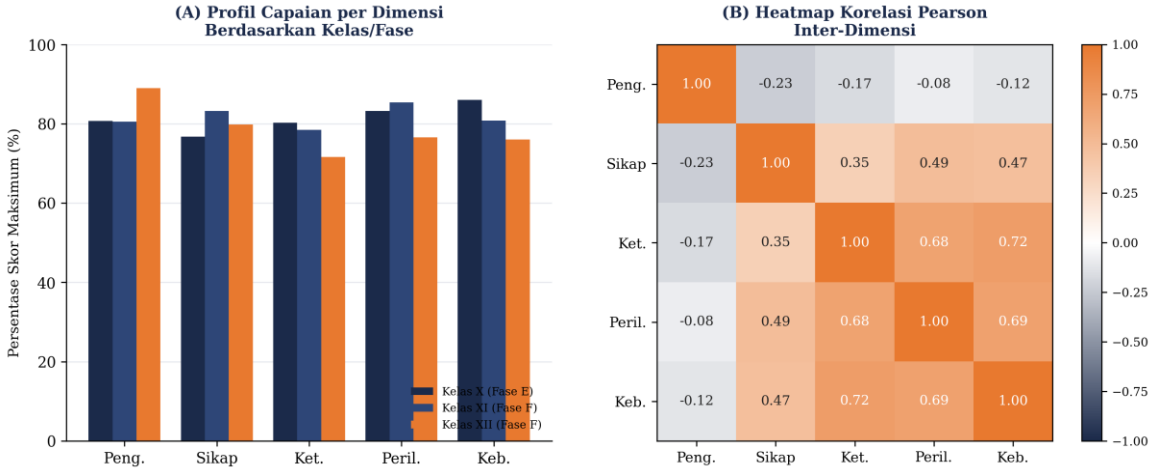
Korelasi Inter-Dimensi dan Uji Reliabilitas Instrumen

Hasil analisis korelasi Pearson (r) antar-dimensi serta estimasi koefisien reliabilitas instrumen disajikan pada Tabel 6 dan visualisasi terpadu pada Gambar 2.

Tabel 6. Matriks Korelasi Pearson Inter-Dimensi dan Koefisien Reliabilitas Instrumen

Dimensi	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	Reliabilitas (α/KR-20)
(1) Pengetahuan	1,00	-0,23	-0,17	-0,08	-0,12	0,554 (KR-20)
(2) Sikap	-0,23	1,00	0,35	0,49	0,47	0,760 (α)
(3) Keterampilan	-0,17	0,35	1,00	0,68	0,72	0,779 (α)
(4) Perilaku	-0,08	0,49	0,68	1,00	0,69	0,839 (α)
(5) Kebutuhan	-0,12	0,47	0,72	0,69	1,00	0,875 (α)

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional



Gambar 2. (A) Grafik profil literasi lingkungan dan kebutuhan kit IoT per fase kelas; (B) *Heatmap* matriks korelasi *Pearson* antar-dimensi literasi lingkungan

Hasil korelasi pada Tabel 6 dan Gambar 2 mengungkapkan tiga temuan krusial. Pertama, Keterampilan vs Kebutuhan Kit IoT (r = 0,72): hubungan positif yang sangat kuat. Siswa yang sadar akan pentingnya keterampilan analitis lingkungan sangat membutuhkan hadirnya kit berbasis sensor IoT. Kedua, Keterampilan vs. Perilaku (r = 0,68): keterampilan mengolah data lingkungan berbanding lurus dengan pembentukan perilaku bertanggung jawab. Ketiga, Pengetahuan vs. dimensi lain (r = -0,08 s.d. -0,23): pengetahuan teoritis tidak memiliki korelasi positif dengan sikap, keterampilan, maupun perilaku. Hal ini membuktikan secara empiris keberadaan knowledge-skill-action gap.

Estimasi reliabilitas menunjukkan instrumen Sikap (α = 0,760), Keterampilan (α = 0,779), Perilaku (α = 0,839), dan Kebutuhan (α = 0,875) memiliki tingkat konsistensi internal yang tinggi. Sementara itu, instrumen Pengetahuan (KR-20 = 0,554) berada pada kategori moderat, yang dipengaruhi oleh dikotomi jawaban Benar-Salah serta variasi cakupan konsep yang luas pada 8 butir soal.

Pembahasan

Dekonstruksi Knowledge-Skill-Action Gap dalam Pembelajaran Fisika

Temuan utama penelitian ini mengonfirmasi keberadaan knowledge-skill-action gap yang nyata pada siswa SMAS Sandika Sukajadi. Meskipun capaian pengetahuan lingkungan siswa tergolong tinggi (83,70%), hal tersebut tidak berkorelasi positif terhadap keterampilan analitis (r = -0,17) maupun perilaku pro-lingkungan (r = -0,08). Fenomena ini sejalan dengan temuan Ardoin et al. (2020) dan (Otto et al., 2019), yang menyatakan bahwa akumulasi informasi kognitif (factual knowledge) tidak secara otomatis mentransformasi kapasitas pemecahan masalah dan tindakan partisipatif siswa.

Dalam konteks pembelajaran fisika di Indonesia, kesenjangan ini berakar dari pendekatan instruksional yang cenderung berfokus pada lower-order thinking skills (LOTS) dan penyelesaian soal kalkulasi matematis tanpa makna ekologis (El Azzouzi et al., 2023). Siswa menghafal bahwa kalor jenis air adalah 4.184 J/kg°C atau bahwa gas rumah kaca menahan radiasi inframerah, tetapi mereka tidak terlatih menggunakan instrumen pengukur untuk membuktikan bagaimana tutupan vegetasi sekolah memengaruhi kapasitas kalor dan mikroklimat local. Oleh karena itu, penguatan

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

literasi lingkungan membutuhkan pergeseran paradigma dari *learning about the environment* menuju *learning through inquiry in the environment* (Abdullah et al., 2025).

Miskonsepsi Termodinamika dan Pembelajaran Kontekstual Real-Time

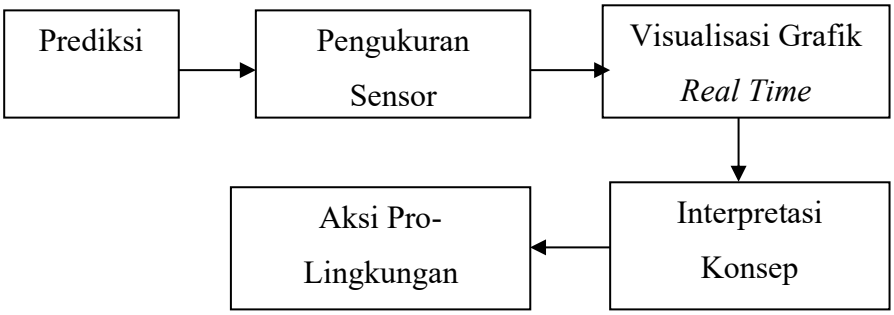
Hasil pengujian pengetahuan mengungkap miskonsepsi yang signifikan: 37,0% siswa meyakini kalor dapat berpindah dari benda dingin ke benda panas secara alami, dan 32,6% siswa gagal mengaitkan kualitas udara dengan konsep fisika suhu dan energi. Miskonsepsi ini terjadi akibat abstraksi materi Hukum II Termodinamika dan perpindahan kalor (konduksi, konveksi, radiasi) yang tidak pernah divisualisasikan secara empiris. Siswa memandang isu lingkungan seperti urban heat island atau penurunan kualitas udara sebagai bahasan Biologi atau Geografi, bukan sebagai fenomena kesetimbangan energi fisik (Ndzimbomvu et al., 2021).

Integrasi teknologi IoT hadir sebagai solusi pedagogis untuk meretifikasi miskonsepsi tersebut (Hercog et al., 2023). Dengan menggunakan sensor suhu digital (seperti DS18B20 atau DHT22) dan sensor kualitas udara (MQ-135/PM2.5) yang terhubung ke mikrokontroler ESP32/Arduino (Barros et al., 2023), siswa dapat mengamati fluktuasi grafik suhu dan konsentrasi partikel secara real-time. Visualisasi grafik langsung pada dashboard digital memfasilitasi terjadinya cognitive conflict, di mana persepsi awal siswa yang keliru disandingkan langsung dengan data empiris yang objektif (Stephens, 2024).

Integrasi IoT dan Data-Driven Inquiry untuk Membangun Keterampilan

Keterampilan lingkungan siswa yang rendah (76,36%) khususnya pada indikator interpretasi data (74,5%) dan perumusan rekomendasi berbasis bukti (76,6%) dapat ditingkatkan melalui strategi data-*driven inquiry*. Korelasi yang sangat kuat antara Keterampilan dan Analisis Kebutuhan Kit IoT (r = 0,72) menunjukkan bahwa siswa secara sadar membutuhkan perangkat teknologi untuk membantu mereka melakukan investigasi saintifik.

Kit eksperimen berbasis IoT mendefinisikan ulang peran praktikum fisika dari sekadar demonstrasi verifikatif menjadi wahana riset otentik (Zhao, 2026), melalui siklus investigasi pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Siklus Investigasi Siswa Berbasis IoT

Melalui siklus ini siswa dilatih membangun argumen ilmiah berbasis data nyata (*data-based decision making*). Ketika siswa melihat data empiris bahwa suhu ruang kelas tanpa ventilasi meningkat 3°C lebih cepat dibanding ruang bervegetasi, mereka tidak hanya memahami konsep perpindahan kalor radiasi, tetapi juga tergerak merumuskan aksi nyata penanaman pohon atau pengaturan ventilasi kelas.

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

Diferensiasi Kurikuler Berdasarkan Fase Perkembangan Siswa

Temuan perbedaan profil antar-kelas memberikan wawasan krusial bagi implementasi Kurikulum Merdeka. Fase E (Kelas X) memiliki kebutuhan kit IoT paling tinggi (86,0%) dan perilaku yang kuat (83,2%), tetapi pengetahuan konseptual masih berkembang (80,7%). Pada fase ini, pembelajaran fisika perlu berfokus pada pengenalan sensor, pembacaan data sederhana, serta pembentukan kebiasaan pengamatan lingkungan yang menyenangkan (*guided inquiry*). Sebaliknya, pada Fase F (Kelas XI & XII), siswa Kelas XII memiliki pengetahuan sangat tinggi (89,0%), namun keterampilan analitis paling rendah (71,6%). Hal ini mengindikasikan dampak pembelajaran konvensional bertahun-tahun yang terlalu menekankan soal kalkulasi teknis. Untuk Fase F, instruksi perlu diarahkan pada open-ended inquiry, analisis komparatif data mikroklimat antarlokasi, pemodelan matematika linier, dan penyusunan kampanye pelestarian lingkungan berbasis data real-time.

Implikasi Desain Kit Eksperimen Fisika Berbasis IoT

Berdasarkan sintesis temuan kuantitatif, kualitatif, dan analisis kebutuhan, dirumuskan empat prinsip utama dalam merancang kit eksperimen fisika berbasis IoT pada materi Suhu dan Kalor.

1. Rancangan perangkat keras (*hardware*): menggunakan mikrokontroler terjangkau (ESP32/Arduino) yang dilengkapi sensor suhu dan kelembapan (DHT22/DS18B20), sensor radiasi matahari/LDR, serta sensor kualitas udara (MQ-135) yang terbungkus casing portabel dan tahan cuaca.
2. Pengembangan antarmuka (software/dashboard): menyediakan dashboard web/aplikasi seluler interaktif berbasis ThingSpeak/Blynk yang menampilkan grafik real-time, penyimpanan data otomatis, dan fitur ekspor data dalam format CSV/Excel guna mempermudah analisis di kelas.
3. Penyusunan RPM yang memuat kegiatan pembelajaran yang terstruktur yang juga disertakan dengan LKPD yang terpadu untuk memandu kegiatan pembelajaran.
4. Diferensiasi pembelajaran: menyediakan skenario praktikum yang disesuaikan dengan karakteristik Fase E (fokus pemahaman sensor dasar) dan Fase F.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil memetakan profil literasi lingkungan serta menganalisis kebutuhan pengembangan kit eksperimen fisika berbasis IoT pada materi Suhu dan Kalor di SMAS Sandika Sukajadi. Temuan menunjukkan bahwa siswa memiliki modal awal yang sangat baik pada dimensi Pengetahuan Lingkungan (83,70%) dan Perilaku Lingkungan (81,66%), serta sikap positif terhadap integrasi teknologi (80,37%). Namun, Keterampilan Lingkungan menjadi titik lemah paling kritis (76,36%), khususnya dalam hal membaca grafik, menafsirkan data digital, dan menghubungkan parameter fisika dengan pemecahan masalah lingkungan. Terbukti adanya knowledge-skill gap, di mana pengetahuan teoritis yang tinggi tidak berkorelasi positif dengan keterampilan analitis maupun tindakan pro-lingkungan berbasis data.

Kebutuhan siswa terhadap pengembangan kit eksperimen fisika berbasis IoT tergolong sangat tinggi (80,28%) dan berkorelasi sangat kuat dengan dimensi keterampilan ($r = 0,72$). Penelitian kualitatif mengonfirmasi bahwa media praktikum fisika di sekolah masih konvensional dan pengalaman siswa mengoperasikan sensor

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

IoT masih sangat terbatas. Berdasarkan temuan ini, dirumuskan rekomendasi spesifikasi kit eksperimen IoT yang mengintegrasikan sensor multi-parameter, visualisasi grafik real-time, RPM yang dilengkapi dengan LKPD padu, serta diferensiasi instruksional untuk Fase E dan Fase F. Implikasi penelitian ini memberikan landasan empiris yang kokoh bagi pengembang kurikulum, pendidik fisika, dan peneliti untuk merancang media praktikum berbasis IoT yang tidak hanya meningkatkan penguasaan konsep fisika, tetapi juga mentransformasi pengetahuan siswa menjadi keterampilan dan perilaku pro-lingkungan yang berkelanjutan.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada cakupan sampel yang hanya berasal dari satu sekolah (N=50), sehingga generalisasi hasil perlu dilakukan secara hati-hati pada konteks sekolah lain dengan karakteristik berbeda. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melibatkan sampel dari beberapa sekolah dengan latar belakang demografis dan geografis yang lebih beragam, serta menguji efektivitas kit eksperimen IoT yang direkomendasikan melalui studi implementasi (misalnya quasi eksperimen) pada tahap berikutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kepala SMAS Sandika Sukajadi beserta guru dan siswa yang telah memberikan izin serta berpartisipasi dalam pengumpulan data penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, M. I., Kusuma, J., & Abrar, R. N. (2025). Enhancing Middle School Students' scientific literacy through inquiry-based learning in environmental education. *Journal of Science and Mathematics Education*, *1*(4), 111–117. https://doi.org/10.70716/josme.v1i4.338

Afifa, Arshad, K., Hussain, N., Ashraf, M. H., & Saleem, M. Z. (2024). Air pollution and climate change as grand challenges to sustainability. *Science of The Total Environment*, *928*, 172370. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172370

Ardoin, N. M., Bowers, A. W., & Gaillard, E. (2020). Environmental education outcomes for conservation: A systematic review. *Biological Conservation*, *241*, 108224. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108224

Azizah, L. N., & Suhardi, A. (2026). Transformation of Students' Understanding of Linier Motion Sub-Materials Through Assemblr EDU Learning Media at The Junior High School Level/MTS Students. *INSECTA: Integrative Science Education and Teaching Activity Journal*, *7*(1), 57–66. https://doi.org/10.21154/insecta.v7i1.13483

Barros, N., Sobral, P., Moreira, R. S., Vargas, J., Fonseca, A., Abreu, I., & Guerreiro, M. S. (2023). SchoolAIR: A Citizen Science IoT Framework Using Low-Cost Sensing for Indoor Air Quality Management. *Sensors*, *24*(1), 148. https://doi.org/10.3390/s24010148

Bottin, M., Pizarro, A. B., Ramírez, L., Cadavid, S., Barbosa, S., Ocampo-Palacio, J. G., & Quesada, B. (2026). Systematic review of the effects of climate change education on cognition, attitude, and behavior of schoolchildren and their

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

entourage. *Environmental Research Letters*, *21*(10), 103001. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ae628e

Braun, T., & Dierkes, P. (2019). Evaluating Three Dimensions of Environmental Knowledge and Their Impact on Behaviour. *Research in Science Education*, *49*(5), 1347–1365. https://doi.org/10.1007/s11165-017-9658-7

Candia, R., Glomar, G., Joven, C., & Lasala, N. J. (2025). Home-Based Learning Activities (H-BLA) In Teaching Physics Topics For Elementary School Students. *Journal of Basic Education Research*, *6*(2), 168–183. https://doi.org/10.37251/jber.v6i2.1738

Desnita, D., Usmeldi, U., & Hidayat, H. (2023). Students' Environmentally-Friendly Behavior: The Mediating Effect Investigation. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, *12*(1), 43–54. https://doi.org/10.15294/jpii.v12i1.40219

El Azzouzi, A., Elachqar, A., & Kaddari, F. (2023). Integrating Environmental Education Into Physics Instruction: Insights From Teachers Regarding Students' Engagement. *Randwick International of Education and Linguistics Science Journal*, *4*(3), 491–499. https://doi.org/10.47175/rielsj.v4i3.787

Erwinsyah. (2022). Environmental knowledge, attitudes, and practices for behavior change of university students: the case of Indonesia. *Journal of STEAM Education*, *5*(2), 181–192. https://doi.org/10.55290/steam.1075516

Ga, S.-H., Park, C., Cha, H.-J., & Kim, C.-J. (2024). Science Teachers' Technical Difficulties in Using Physical Computing and the Internet of Things Into School Science Inquiry. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, *17*, 1809–1818. https://doi.org/10.1109/TLT.2024.3406964

Gendreau Chakarov, A., Biddy, Q., Hennessy Elliott, C., & Recker, M. (2021). The Data Sensor Hub (DaSH): A Physical Computing System to Support Middle School Inquiry Science Instruction. *Sensors*, *21*(18), 6243. https://doi.org/10.3390/s21186243

Hercog, D., Lerher, T., Truntič, M., & Težak, O. (2023). Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices. *Sensors*, *23*(15), 6739. https://doi.org/10.3390/s23156739

Hollweg, K. (2011). *Developing a Framework for Assessing Environmental Literacy*.

Lovren, V. O., & Jablanovic, M. M. (2023). Bridging the Gap: The Affective Dimension of Learning Outcomes in Environmental Primary and Secondary Education. *Sustainability*, *15*(8), 6370. https://doi.org/10.3390/su15086370

Nadzirin Anshari Nur, M., Purnamwati, & Amiruddin. (2024). Analysis of needs for development of the internet of things virtual laboratory. *ITM Web of Conferences*, *58*, 03004. https://doi.org/10.1051/itmconf/20245803004

Napitupulu, N. D., Novianti, I., Iduard, I., Rutmiyanti, R., Ibrahim, I., & Embatau, K. S. (2025). Environmental Literacy In Middle School: Ecological Knowledge, Cognitive skills, Environmental Affect, and Pro-Environmental Behavior. *Jurnal Eduscience*, *12*(2), 281–296. https://doi.org/10.36987/jes.v12i2.6691

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

Nasution, S. W. R., Hidayat, T., Sari, L. P., Nasution, H. N., Siregar, D. A., & Nasution, U. S. Z. (2025a). Development of IoT-Based Physics Teaching Aids for Basic Physics Practicum. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, *11*(12), 830–836. https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i12.13441

Ndzimbomvu, N. T., Rampedi, I. T., & Kemp, M. E. (2021). Learning Environmental Issues from a Secondary School Curriculum: The Case of Learners in Mamelodi Township, South Africa. *Sustainability*, *13*(16), 9149. https://doi.org/10.3390/su13169149

Ningsih, W., Hardinata, A., Nazliah, R., & Azhari, M. (2026). Scientific Literacy and Climate Change Perceptions among Junior High School Students in Medan: Insights from the PISA Framework. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, *12*(1), 233–243. https://doi.org/10.29303/jppipa.v12i1.13854

Oe, H., Yamaoka, Y., & Ochiai, H. (2022). A Qualitative Assessment of Community Learning Initiatives for Environmental Awareness and Behaviour Change: Applying UNESCO Education for Sustainable Development (ESD) Framework. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(6), 3528. https://doi.org/10.3390/ijerph19063528

Otto, S., Evans, G. W., Moon, M. J., & Kaiser, F. G. (2019). The development of children's environmental attitude and behavior. *Global Environmental Change*, *58*, 101947. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.101947

Putri, P. N., Rachmadiarti, F., Purnomo, T., & Satriawan, M. (2025). Measuring Scientific Literacy of Students' Through Environmental Issues Based on PISA 2025 Science Framework. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, *11*(3), 44–53. https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i3.10413

Ramadhani Dar, S., Emiliannur, E., Festiyed, F., Riyasni, S., & Winarno, N. (2025). The Importance of Integrating Education for Sustainable Development in Global Warming Assessments to Improve Students' Critical Thinking Skills. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, *11*(2), 223–234. https://doi.org/10.24036/jppf.v11i2.23

Ramsaroop, S., Mahase, M. F., & Petersen, N. (2024). Bridging the theory-practice divide: Reflections of school-based student teachers. *South African Journal of Childhood Education*, *14*(1). https://doi.org/10.4102/SAJCE.v14i1.1558

Salmoiraghi, A., Zamboni, A., Toffaletti, S., Di Mauro, M., Malgieri, M., Fiorello, C., Onorato, P., & Oss, S. (2025). Core of Sustainability Education: Bridging Theory and Practice in Teaching Climate Science to Future Mathematics and Physics Teachers. *Sustainability*, *17*(11), 5120. https://doi.org/10.3390/su17115120

Stephens, A. L. (2024). From graphs as task to graphs as tool. *Journal of Research in Science Teaching*, *61*(5), 1206–1233. https://doi.org/10.1002/tea.21930

Yang, X., Chen, S., Liu, T., Luo, J., & Tang, Y. (2025). Practice Primacy: Revisiting the Knowledge–Action Gap in Pro-Environmental Behavior with eXplainable AI. *Sustainability*, *17*(21), 9916. https://doi.org/10.3390/su17219916

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

Yeh, F.-Y., Tran, N.-H., Hung, S. H., & Huang, C.-F. (2022). A Study of Environmental Literacy, Scientific Performance, and Environmental Problem-Solving. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *20*(8), 1883–1905. https://doi.org/10.1007/s10763-021-10223-9

Yusliani, E., & Desnita. (2021). Mapping environmental curriculum in physics learning at senior high school grade X semester 2. *Journal of Physics: Conference Series*, *1876*(1), 012040. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1876/1/012040

Zárate Rueda, R., Beltrán Villamizar, Y. I., & Becerra Ardila, L. E. (2023). A Retrospective Approach to Pro-Environmental Behavior from Environmental Education: An Alternative from Sustainable Development. *Sustainability*, *15*(6), 5291. https://doi.org/10.3390/su15065291

Zhao, Y. (2026). Smartphone-based undergraduate physics labs: a comprehensive review of innovation, accessibility, and pedagogical impact. *European Journal of Physics*, *47*(1), 013001. https://doi.org/10.1088/1361-6404/ae2a80

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional