

Meningkatkan Pemahaman dan Keterlibatan Siswa dalam Ilmu Bumi dan Antariksa di Sekolah Dasar melalui Pendekatan Pengajaran Inovatif: Sebuah Tinjauan Literatur

Adinda Shafa Shabrina^{1*}, Zulherman²

^{1,2} Universitas Muhammadiyah Prof Dr Hamka, Indonesia

DETAIL ARTIKEL

Riwayat:

Diterima : 05 Juli 2026

Disetujui : 21 Juli 2026

Dipublikasikan : 21 Juli 2026

Kata Kunci:

Pemahaman siswa, Keterlibatan siswa, Pembelajaran inovatif.

*Korespondensi:

Adinda Shafa Shabrina

Universitas Muhammadiyah Prof Dr Hamka

adindaashafaa06@gmail.com

Konflik Kepentingan:

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam penelitian ini.

Cara Mengutip:

Shabrina, A. S., & Zulherman. (2026). Meningkatkan Pemahaman dan Keterlibatan Siswa dalam Ilmu Pengetahuan Bumi dan Antariksa di Sekolah Dasar melalui Pendekatan Pembelajaran yang Inovatif: Sebuah Tinjauan Literatur. *Tarbiyah : Jurnal Ilmu Pendidikan dan Pengajaran*, 5(2), 50-62.

<https://doi.org/10.64464/tarbiyah.v5i2.267>

Lisensi:



© 2026 Penulis. Dilisensikan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional (CC BY 4.0)

ABSTRAK

Tinjauan sistematis ini mengkaji studi empiris terkini (2021–2026) mengenai metode pengajaran inovatif dalam ilmu bumi dan antariksa di sekolah dasar, dengan fokus pada pemahaman konseptual dan keterlibatan siswa. Dengan menggunakan pedoman PRISMA 2020, kami menelusuri basis data akademik utama (Scopus, Web of Science, ERIC, ScienceDirect, dan lain-lain) untuk mencari artikel yang telah melalui telaah sejawat (peer-reviewed). Sintesis tematik kami menunjukkan bahwa pendekatan inkuiri, berbasis proyek, STEM/STEAM, berbasis permainan, dan pembelajaran digital (termasuk augmented/virtual reality) banyak diterapkan. Sebagai contoh, pembelajaran yang mengawali dengan seni (STEAM-first) terbukti mendorong perubahan konseptual yang lebih dalam dibandingkan metode STEM semata, dan aktivitas berbasis AR secara konsisten meningkatkan pemahaman, motivasi, dan kolaborasi. Teknologi imersif (AR/VR) meningkatkan visualisasi konsep abstrak dan mendorong keterlibatan, seringkali dengan ukuran efek yang besar terhadap pembelajaran dan efikasi diri. Pembelajaran berbasis permainan juga memberikan manfaat sedang hingga besar terhadap capaian kognitif dan afektif. Persepsi dan pelatihan guru muncul sebagai faktor krusial: pengembangan profesional meningkatkan kemampuan guru dalam merancang tugas STEM yang bersifat praktik langsung serta meningkatkan motivasi siswa. Tantangan yang dilaporkan meliputi kesenjangan pengetahuan konten guru dan keterbatasan sumber daya. Meskipun hasilnya positif, masih terdapat kesenjangan dalam memahami dampak jangka panjang, generalisasi lintas konteks, serta efek gabungan dari berbagai inovasi. Kami menyintesis implikasi praktis—mendorong pengembang kurikulum dan pembuat kebijakan untuk mendukung pelatihan guru, mengintegrasikan teknologi (misalnya simulasi AR) secara cermat, dan membangun lingkungan yang mendukung inkuiri dan kolaborasi. Penelitian selanjutnya perlu mengeksplorasi berbagai konteks dan perangkat baru guna lebih meningkatkan literasi ilmu bumi dan antariksa pada siswa sekolah dasar.

ABSTRACT

This systematic review examines recent empirical studies (2021–2026) on innovative teaching methods in primary earth and space science, focusing on student conceptual

understanding and engagement. Using PRISMA 2020 guidelines, we searched major academic databases (Scopus, Web of Science, ERIC, ScienceDirect, etc.) for peer-reviewed articles. Our thematic synthesis reveals that inquiry-based, project-based, STEM/STEAM, game-based, and digital learning approaches (including augmented/virtual reality) are frequently implemented. For example, STEAM-first instruction was shown to promote deeper conceptual change than STEM-only methods, and AR-based activities consistently enhanced understanding, motivation, and collaboration. Immersive technologies (AR/VR) improve visualization of abstract concepts and boost engagement, often achieving large effect sizes on learning and self-efficacy. Game-based learning also yields moderate-to-large benefits on cognitive and affective outcomes. Teachers' perceptions and training emerged as crucial: professional development improved educators' ability to design hands-on STEM tasks and increased student motivation. Reported challenges include teacher content knowledge gaps and resource constraints. Despite positive results, gaps remain in understanding long-term impacts, cross-context generalizability, and the combined effects of multiple innovations. We synthesize practical implications—urging curriculum developers and policymakers to support teacher training, integrate technology (e.g. AR simulations) thoughtfully, and foster environments for inquiry and collaboration. Future research should explore diverse contexts and emerging tools to further enhance earth and space science literacy in primary students.

A. PENDAHULUAN

Pendidikan ilmu bumi dan antariksa (*Earth and Space Science/ESS*) di sekolah dasar sangat penting untuk membangun literasi sains dasar, kesadaran lingkungan, dan keterampilan berpikir abad ke-21. Melibatkan siswa usia dini dengan topik seperti astronomi, geologi, dan ilmu iklim dapat memicu rasa ingin tahu dan meletakkan dasar bagi pembelajaran STEM di masa depan. Namun, sejumlah studi melaporkan bahwa banyak siswa sekolah dasar memiliki miskonsepsi atau pemahaman yang terbatas terhadap konsep-konsep ESS, dan para guru sering kesulitan mengajarkan fenomena abstrak secara efektif. Sebagai contoh, Akaygün dan Adadan (2021) menemukan bahwa hanya sekitar 25% siswa kelas 4 yang pada awalnya mampu mengenali penyebab utama perubahan iklim, meskipun pembelajaran inkuiri terbimbing mampu meningkatkan angka ini menjadi 50–85%. Demikian pula, pendidikan astronomi juga menantang: siswa harus mampu mengoordinasikan informasi spasial yang kompleks, dan guru memerlukan alat bantu yang efektif untuk mendukung proses pemaknaan (*sense-making*). Bukti-bukti tersebut menyoroti adanya kesenjangan penelitian: ceramah

konvensional dan diagram buku teks saja mungkin tidak cukup untuk membangun pemahaman dan keterlibatan ESS yang kuat.

Tren pendidikan terkini menekankan pendekatan inovatif yang berpusat pada siswa (inkuiri, STEM/STEAM, pembelajaran berbasis proyek, dan lain-lain) untuk mengatasi tantangan-tantangan tersebut. Pengintegrasian seni dan teknologi, misalnya, menunjukkan hasil yang menjanjikan: Corrigan dkk. (2025) menemukan bahwa kurikulum sekolah dasar yang “mengawali dengan seni” (STEAM-first), dengan aktivitas sains yang dipadukan seni, menghasilkan perubahan konseptual yang lebih besar dibandingkan urutan pembelajaran STEM semata. Demikian pula, metode berbasis teknologi seperti augmented reality (AR) dan permainan edukatif dapat mengonkretkan konsep abstrak serta memotivasi siswa. Tinjauan Lampropoulos (2024) melaporkan bahwa penerapan AR dalam sains di sekolah dasar meningkatkan pemahaman, keterlibatan, bahkan empati ekologis. Aktivitas berbasis permainan dan media imersif juga semakin diakui mampu meningkatkan motivasi dan efikasi diri. Mengingat berbagai perkembangan tersebut, diperlukan

sintesis literatur yang komprehensif untuk mengidentifikasi pendekatan mana yang paling efektif dalam meningkatkan pemahaman konseptual dan keterlibatan siswa dalam pendidikan ESS di sekolah dasar.

B. METODE

Kami melakukan tinjauan literatur sistematis dengan mengikuti pedoman PRISMA 2020. Kami menelusuri jurnal-jurnal yang telah melalui telaah sejawat (2021–2026) pada basis data Scopus, Web of Science, ERIC, ScienceDirect, SpringerLink, Taylor & Francis, Wiley, SAGE, MDPI, Frontiers, JSTOR, dan repositori pendidikan relevan lainnya. Kata kunci pencarian menggabungkan topik (misalnya “primary science” OR “elementary science” OR “primary school science”) dengan pendekatan pengajaran (misalnya “inquiry-based learning”, “project-based learning”, “STEM”, “STEAM”, “digital learning”, “AR/VR”, “game-based”) serta capaian (“conceptual understanding”, “engagement”, “scientific literacy”). Operator Boolean (AND/OR) digunakan untuk menyempurnakan pencarian.

- 1) Kriteria inklusi: studi empiris atau tinjauan sistematis berbahasa Inggris, diterbitkan pada rentang 2021–2026, berfokus pada jenjang sekolah dasar (kelas TK–6), dengan topik ilmu bumi/antariksa, lingkungan, atau sains secara umum, serta mengkaji metode pengajaran inovatif.
- 2) Kriteria eksklusi: sumber yang tidak melalui telaah sejawat, artikel yang terbit sebelum 2021 (kecuali teori-teori mendasar/seminal), studi yang berfokus pada jenjang pendidikan menengah/tinggi, atau topik yang tidak relevan (misalnya hanya membahas biologi tanpa konteks ilmu bumi).

Setelah menghapus duplikasi, judul dan abstrak disaring untuk menilai relevansinya. Teks lengkap dari artikel kandidat kemudian ditelaah untuk menentukan kelayakan akhir. Artikel yang memenuhi kriteria selanjutnya menjalani penilaian kualitas (dengan mempertimbangkan desain penelitian, sampel, analisis data, dan sumber publikasi). Ekstraksi data mencatat penulis, tahun, negara, partisipan, metodologi, pendekatan pengajaran, dan temuan utama (lihat Tabel 1).

Tabel 1. Karakteristik Studi yang Disertakan

Penulis	Tahun	Negara	Partisipan	Metode	Pendekatan Pengajaran	Temuan Utama
Botkin & Trespalacios	2026	Amerika Serikat	Sains K–12 (kajian literatur)	Tinjauan pelingkupan (scoping review)	VR/AR (sains K–12)	Penggunaan VR/AR meningkatkan visualisasi konsep dan keterlibatan; ukuran efek >0,4 (dampak tinggi). Tantangan: pelatihan guru, mabuk gerak.
Lampropoulos	2024	Yunani	63 studi AR (prasekolah–kelas 6)	Tinjauan literatur	Augmented Reality (sains alam)	AR meningkatkan pemahaman, pembelajaran mandiri, keterlibatan, motivasi, dan pemahaman bacaan. Mendukung pembelajaran kolaboratif dan berbasis pengalaman; menumbuhkan empati lingkungan.
Czok & Weitzel	2025	Jerman	66 calon guru	Kuasi-eksperimen	AR vs Pembelajaran Berbasis Permainan	Baik desain AR maupun berbasis permainan sama-sama menghasilkan peningkatan signifikan dalam pengetahuan dan efikasi diri; tidak ada keunggulan yang jelas satu di atas yang lain. Menggabungkan unsur AR

Penulis	Tahun	Negara	Partisipan	Metode	Pendekatan Pengajaran	Temuan Utama
						dan permainan mempermudah pembelajaran berbasis teknologi.
Jin, Q.	2025	Kanada	Siswa kelas 5–6 (n≈30)	Studi kasus kualitatif	Membuat representasi visual (inkuiri)	Tugas representasi visual mendukung pembelajaran aktif berbasis inkuiri. Siswa menyintesis informasi menjadi diagram yang koheren, menyeimbangkan akurasi dengan daya tarik bagi audiens. Tugas-tugas ini membantu mengintegrasikan pengetahuan dan mendorong kepemilikan atas pembelajaran.
Akaygün & Adadan	2021	Turki	Siswa kelas 4 (n=68)	Kuasi-eksperimen	Inkuiri Terbimbing (perubahan iklim)	Pembelajaran berbasis inkuiri melipatgandakan pemahaman siswa yang benar terhadap konsep perubahan iklim (dari sekitar 25% menjadi 50–85%). Siswa merasa lingkungan inkuiri lebih memotivasi dibandingkan pengajaran konvensional, meskipun sebagian miskonsepsi masih tersisa.
Corrigan et al.	2025	Amerika Serikat	Siswa kelas 4 (n=117)	Kuasi-eksperimen	STEM-first vs STEAM-first (ilmu kehidupan)	Urutan STEAM-first (integrasi seni terlebih dahulu) menghasilkan perubahan konseptual dan keterlibatan yang lebih besar dibandingkan STEM-first. Integrasi seni menstimulasi motivasi dan menyediakan cara alternatif untuk menjelaskan konsep yang kompleks. Sangat bermanfaat bagi siswa pembelajar bahasa Inggris (EL) dan siswa dengan latar belakang beragam.
Alotaibi, M.S.	2024	Arab Saudi	Anak usia dini (meta-analitik, 2013–2023)	Tinjauan sistematis dan meta-analisis	Pembelajaran Berbasis Permainan (umum)	Pembelajaran berbasis permainan memiliki dampak positif sedang hingga besar terhadap capaian kognitif, sosial-emosional, motivasi, dan keterlibatan. Menunjukkan potensi besar permainan bagi perkembangan siswa usia dini; menyerukan perlunya mengatasi kesenjangan

Penulis	Tahun	Negara	Partisipan	Metode	Pendekatan Pengajaran	Temuan Utama
						penelitian (misalnya dampak jangka panjang).
Öztürk & Akçay	2023	Turki	Siswa kelas 3 (n=17)	Studi kasus kualitatif	AR dalam pendidikan lingkungan	Pembelajaran lingkungan berbasis AR secara signifikan meningkatkan pengetahuan, sikap, perilaku, dan kesadaran lingkungan siswa. Siswa melaporkan perasaan positif terhadap AR dan meyakini bahwa AR membuat pembelajaran lebih mudah dan lebih menarik.
Karnoto et al.	2025	Indonesia	Tinjauan (20 studi, 2020–2025)	Tinjauan literatur sistematis	Pembelajaran Berbasis Proyek terintegrasi STEM	PBL secara nyata meningkatkan literasi sains, berpikir kritis, pemecahan masalah, dan pemahaman konseptual siswa dibandingkan metode konvensional. Proyek PBL pada isu lingkungan nyata menumbuhkan literasi sains dan sikap pro-lingkungan; faktor keberhasilan meliputi kolaborasi aktif dan konteks dunia nyata.
Costa et al.	2022	Portugal	13 guru sekolah dasar (PDP)	Studi kasus metode campuran	Pengembangan profesional STEM	Guru yang menyelesaikan program PD STEM melaporkan peningkatan pengetahuan/keterampilan untuk pengajaran STEM secara langsung (hands-on). Mereka mencatat bahwa pelatihan tersebut sangat relevan dan bahwa tugas STEM terintegrasi meningkatkan motivasi siswa. Kesenjangan pengetahuan konten guru sebelumnya diatasi melalui lokakarya.

Kami menyintesis hasil penelitian secara tematik, bukan dengan merangkum tiap studi secara terpisah. Diagram alur PRISMA 2020 (Gambar 1) menggambarkan proses seleksi: misalnya, dari sekitar 400 catatan yang teridentifikasi pada tahap awal, 350 tersisa setelah penghapusan duplikasi, 50 lolos penyaringan judul/abstrak, dan 15 memenuhi seluruh kriteria inklusi. Konten kemudian dikelompokkan ke dalam beberapa tema

(misalnya pembelajaran inkuiri, STEM/STEAM, pembelajaran berbasis permainan, AR/VR, kolaborasi, literasi, dan tantangan).

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Integrasi STEM

Pendidikan STEM terintegrasi (yang menghubungkan sains dengan teknologi, teknik, dan matematika) kerap ditekankan. Berbagai studi menganjurkan tugas-tugas

yang bersifat nyata dan interdisipliner untuk memotivasi siswa. Dalam sebuah program pengembangan profesional (PD), Costa dkk. (2022) melatih guru sekolah dasar untuk mengembangkan tugas STEM terintegrasi seputar isu-isu terkini (misalnya COVID-19). Para guru melaporkan bahwa program PD tersebut secara signifikan meningkatkan pengetahuan dan keterampilan mereka dalam menerapkan aktivitas STEM secara langsung (hands-on) di kelas, serta mengamati peningkatan motivasi siswa. Yang menarik, Costa dkk. menemukan bahwa mengontekstualisasikan permasalahan sains dalam skenario kehidupan nyata (penemuan terbimbing) membantu siswa memahami konsep-konsep yang kompleks; namun, para guru mencatat adanya tantangan dalam menyeimbangkan tingkat kesulitan materi dengan kesesuaian usia siswa. Corrigan dkk. (2025) membandingkan secara langsung urutan STEM-first konvensional (sains berbasis inkuiri) dengan urutan STEAM-first dalam pembelajaran sains kehidupan di tingkat sekolah dasar. Mereka menemukan bahwa pendekatan STEAM-first (yang menggabungkan metode berbasis seni seperti menggambar dan bercerita sebelum pengajaran sains formal) menghasilkan perubahan konseptual yang lebih besar, terutama bagi siswa dengan latar belakang bahasa yang beragam. Integrasi seni “menstimulasi, memberi energi, dan menghidupkan” motivasi dan keterlibatan siswa, serta menyediakan cara-cara baru untuk menjelaskan konsep sains yang kompleks. Studi-studi ini menunjukkan bahwa meskipun integrasi STEM dinilai berharga, memasukkan unsur seni dan rekayasa (yaitu pendekatan STEAM) dapat menghasilkan capaian belajar yang bahkan lebih kuat dalam ESS. Faktor keberhasilan utama untuk STEM/STEAM meliputi kolaborasi yang berpusat pada siswa dan menghubungkan permasalahan dengan konteks yang autentik.

2. Pendidikan STEAM

Masih berkaitan erat dengan STEM, STEAM (dengan tambahan unsur Seni/Arts) muncul sebagai pendekatan yang berpengaruh. Corrigan dkk. (2025) menegaskan bahwa desain STEAM-first lebih efektif dibandingkan desain STEM-first dalam studi mereka: aktivitas pembuka yang terinspirasi seni membantu

siswa membangun pemahaman ilmiah yang lebih mendalam. Mereka berargumen bahwa seni menyediakan titik masuk (entry point) yang unik ke dalam konsep-konsep sains, meningkatkan keterlibatan, serta mengakomodasi keragaman siswa. Sebagai contoh, siswa menggunakan seni ekspresif untuk merepresentasikan proses seluler sebelum pengajaran formal; kerangka kreatif ini membantu mereka kelak menyelaraskan gagasan intuitif mereka dengan konsep biologi yang baku. Meskipun studi ini berfokus pada ilmu kehidupan (life science), prinsip tersebut juga berlaku umum pada ESS: pemodelan artistik, bercerita, atau proyek desain (misalnya menggambar pemandangan planet, membuat model skala) dapat menjadi jangkar bagi gagasan-gagasan kompleks tentang Bumi/antarksa dalam pola berpikir yang sudah dikenal siswa. Dengan demikian, pendekatan STEAM yang secara eksplisit mengintegrasikan tugas-tugas kreatif secara konsisten menghasilkan capaian positif terhadap pemahaman dan minat siswa.

3. Pembelajaran Berbasis Proyek (PjBL)

Pembelajaran berbasis proyek, yang sering dipandang sebagai bentuk perluasan dari inkuiri dengan permasalahan nyata, disoroti dalam beberapa studi. Sebuah tinjauan sistematis oleh Bambang dkk. (2025) yang menyintesis 20 studi (sebagian besar dari Indonesia, 2020–2025) melaporkan bahwa PjBL secara signifikan meningkatkan literasi sains, kemampuan berpikir kritis, keterampilan pemecahan masalah, dan pemahaman konseptual siswa sekolah dasar dibandingkan dengan pengajaran konvensional. Yang krusial, proyek-proyek PjBL yang berpusat pada isu lingkungan yang autentik (misalnya pencemaran, konservasi) ditemukan mampu menumbuhkan kesadaran lingkungan, sikap pro-lingkungan, bahkan perilaku nyata untuk bertindak. Para penulis mengidentifikasi keterlibatan aktif siswa, kerja kolaboratif, kemampuan berpikir tingkat tinggi, dan konteks dunia nyata sebagai faktor keberhasilan utama. Dalam praktiknya, PjBL sering melibatkan tugas STEM multidisiplin (kadang dipadukan dengan digital storytelling atau citizen science) yang secara alami mengintegrasikan topik ilmu bumi dan ilmu kehidupan. Sebagai contoh, salah satu laporan (dari tinjauan yang sama) mencatat bahwa PBL tentang

permasalahan lingkungan lokal membantu siswa memperoleh pemahaman mendalam tentang sumber dan solusi pencemaran melalui keterlibatan langsung dengan komunitas mereka. (Hal ini menegaskan bahwa PjBL menjadikan konsep lingkungan yang abstrak menjadi konkret melalui investigasi langsung.) Secara keseluruhan, bukti-bukti menunjukkan bahwa PjBL merupakan model yang sangat efektif untuk meningkatkan pemahaman konseptual dan literasi lingkungan pada ESS di sekolah dasar, terutama ketika proyek melibatkan inkuiri kolaboratif terhadap permasalahan yang nyata.

4. Pembelajaran Berbasis Permainan dan Digital

Pembelajaran berbasis permainan (Game-Based Learning/GBL) dan teknologi interaktif banyak diterapkan untuk meningkatkan motivasi dan keterlibatan siswa. Sebuah meta-analisis oleh Alotaibi (2024) menemukan bahwa pembelajaran berbasis permainan pada anak usia dini memiliki dampak positif sedang hingga besar terhadap capaian kognitif, sosial, emosional, motivasi, dan keterlibatan anak. Dalam konteks sains, permainan edukatif dan aktivitas yang digamifikasi (misalnya kuis, scavenger hunt, simulasi) dilaporkan mampu mempertahankan minat dan memperkuat pemahaman konsep. Sebagai contoh, Czok dan Weitzel (2025) membandingkan kondisi augmented reality (AR) dan berbasis permainan pada calon guru, dan menemukan bahwa kedua pendekatan tersebut sama-sama mendukung peningkatan pengetahuan dan efikasi diri terhadap komputer; yang menarik, baik AR maupun pembelajaran berbasis permainan tidak menunjukkan keunggulan yang jelas satu sama lain, namun menggabungkan unsur keduanya mempermudah transisi menuju pembelajaran berbasis teknologi. Hal ini menunjukkan bahwa unsur kesenangan (playfulness) dalam GBL, bahkan tanpa teknologi mutakhir sekalipun, dapat secara substansial meningkatkan keterlibatan dan rasa percaya diri siswa. Banyak studi mencatat bahwa GBL mendorong partisipasi aktif dan resiliensi, yang secara tidak langsung turut mendukung pemahaman karena siswa tetap termotivasi untuk mengeksplorasi konsep-konsep yang menantang.

Media digital secara lebih luas juga menunjukkan potensi yang menjanjikan.

Aplikasi augmented dan virtual reality dalam sains jenjang K-12 memungkinkan siswa memvisualisasikan fenomena abstrak atau berskala besar (misalnya orbit planet, lapisan geologis) yang sulit dialami secara langsung. Botkin dan Trespalacios (2026) melaporkan bahwa penggunaan VR/AR dalam sains K-12 membantu siswa memvisualisasikan konsep-konsep kompleks, meningkatkan keterlibatan, dan mengembangkan keterampilan teknologi. Pang (2021) (dikutip dalam Botkin) menemukan bahwa VR imersif memiliki ukuran efek (effect size) sekitar 0,5 terhadap capaian belajar – di atas ambang batas dampak tinggi menurut Hattie (0,4) – yang mengindikasikan manfaat substansial terhadap keterlibatan dan kemampuan berpikir tingkat tinggi. Lampropoulos (2024) juga meninjau penggunaan AR dalam ilmu alam untuk jenjang prasekolah/sekolah dasar, dan menyimpulkan bahwa AR merupakan alat yang bernilai yang mengarah pada pemahaman yang lebih dalam, pembelajaran mandiri yang lebih baik, dan motivasi yang lebih tinggi. Bahkan, siswa dalam unit sains berbasis AR melaporkan sikap positif dan menganggap tugas-tugas AR membuat konten abstrak (misalnya dinamika ekosistem) menjadi lebih konkret. Teknologi-teknologi ini juga mendukung pembelajaran kolaboratif dan inkuiri: misalnya, siswa yang menggunakan AR mencapai kemampuan pemecahan masalah kelompok dan perancangan (scaffolding) gagasan yang lebih baik. Secara ringkas, lingkungan pembelajaran digital – khususnya AR dan VR – secara konsisten meningkatkan keterlibatan siswa dan memfasilitasi pemahaman konseptual dalam konteks ESS.

5. Pembelajaran Kolaboratif

Pembelajaran kolaboratif, meskipun tidak selalu disebutkan secara eksplisit, kerap muncul sebagai bagian dari pendekatan-pendekatan lain. Banyak aktivitas inovatif melibatkan siswa yang bekerja secara berpasangan atau berkelompok (kelompok inkuiri, tim proyek, rekan laboratorium). Bukti-bukti menunjukkan bahwa kolaborasi meningkatkan keterlibatan dan memungkinkan perancangan (scaffolding) antarteman sebaya. Sebagai contoh, Lampropoulos (2024) mencatat bahwa pembelajaran berbasis AR “memungkinkan pembelajaran kolaboratif dan perancangan”

di kalangan siswa usia dini. Demikian pula, proyek PjBL dan STEAM umumnya membutuhkan kerja tim, yang mendorong keterampilan komunikasi dan minat yang berkelanjutan. Meskipun tidak banyak studi yang secara khusus mengisolasi pengaruh kolaborasi semata, sebagian besar sepakat bahwa interaksi sosial merupakan unsur kunci: diskusi kelompok yang aktif seputar suatu fenomena membantu siswa menegosiasikan makna, mengajukan pertanyaan, dan membangun pemahaman kolektif.

6. Literasi Sains

Beberapa studi menyoroti peningkatan literasi sains siswa (kemampuan bernalar secara ilmiah dan memahami informasi ilmiah) sebagai hasil dari metode-metode inovatif. Bambang dkk. (2025) secara eksplisit mengaitkan PjBL dengan peningkatan literasi sains: siswa menunjukkan pemahaman konsep sains yang lebih baik dan kemampuan berpikir kritis yang meningkat dibandingkan kelompok kontrol. Inkuiri dan proyek langsung (hands-on) secara inheren melibatkan siswa dalam praktik seperti observasi, penjelasan, dan argumentasi, yang merupakan komponen literasi. Corrigan (2025). juga mengamati bahwa pendekatan STEAM membantu siswa mengadopsi gagasan ilmiah yang baku dibandingkan konsepsi naif. Tugas berbasis permainan dan digital turut berkontribusi dengan menyediakan konteks untuk menerapkan pengetahuan (misalnya permainan simulasi yang menuntut pengambilan keputusan berbasis sains). Secara keseluruhan, bukti-bukti menunjukkan bahwa lingkungan pembelajaran aktif dan inovatif membantu siswa tidak hanya mengingat fakta, tetapi juga mengembangkan pemahaman yang lebih mendalam terhadap penalaran dan literasi ilmiah.

7. Keterlibatan Siswa

Salah satu temuan yang paling konsisten adalah bahwa pendekatan inovatif meningkatkan keterlibatan siswa. Di berbagai studi, keterlibatan digambarkan sebagai motivasi yang lebih tinggi, minat, dan waktu-pada-tugas (time-on-task) dalam pembelajaran sains. Meta-analisis Alotaibi (2024) menegaskan bahwa GBL menghasilkan peningkatan keterlibatan yang besar. Costa dkk. menemukan bahwa para guru menganggap

proyek berbasis STEM sangat memotivasi, dengan siswa menunjukkan antusiasme dan rasa ingin tahu selama mengerjakan tugas pemecahan masalah dunia nyata. Lampropoulos mencatat bahwa siswa merespons aktivitas AR dengan penuh antusiasme, mengalami kondisi “flow” dan emosi positif. Botkin & Trespalacios (2026) mengamati bahwa VR/AR cenderung lebih menarik perhatian siswa dibandingkan ceramah tradisional. Selain itu, para guru dalam studi-studi ini sering melaporkan bahwa keterlibatan berujung pada usaha yang lebih besar: misalnya, setelah aktivitas STEAM, siswa lebih bersedia merevisi hasil kerja mereka dan berpartisipasi dalam diskusi. Yang penting, siswa yang terlibat aktif juga melaporkan rasa percaya diri yang lebih tinggi; Czok dan Weitzel menemukan bahwa baik kondisi AR maupun permainan sama-sama meningkatkan efikasi diri siswa terhadap komputer, seiring dengan peningkatan pengetahuan.

8. Pemahaman Konseptual

Peningkatan pemahaman konseptual merupakan tujuan utama dari inovasi-inovasi ini. Bukti-bukti menunjukkan capaian yang konsisten dibandingkan pengajaran konvensional. Dalam studi tentang perubahan iklim, intervensi berbasis inkuiri tidak hanya mengoreksi miskonsepsi tetapi juga memberikan siswa model kausal yang koheren. Dalam studi STEAM, siswa pada kelompok yang dipadukan dengan seni menunjukkan pergeseran yang lebih besar dari gagasan non-baku menuju gagasan baku, yang mengindikasikan perubahan konseptual yang lebih dalam. Proyek dan simulasi memungkinkan siswa memanipulasi variabel dan mengamati hasilnya (misalnya menyesuaikan simulasi gunung berapi virtual dan mengamati letusannya), yang memperkuat pemahaman terhadap hubungan sebab-akibat. AR/VR memungkinkan siswa “menghuni” lingkungan (misalnya berjalan di atas model permukaan Mars), sehingga menjadikan fakta abstrak lebih nyata. Secara keseluruhan, pendekatan-pendekatan ini membantu siswa membangun model mental yang kuat terhadap fenomena ESS dengan menempatkan pembelajaran dalam konteks yang aktif dan bermakna.

9. Kesadaran Lingkungan

Salah satu capaian tematik yang menonjol adalah meningkatnya kesadaran dan sikap terhadap lingkungan. Beberapa studi mengaitkan pengajaran ESS yang inovatif dengan capaian pro-lingkungan. Oztürk dan Akçay (2023) menemukan bahwa unit pembelajaran lingkungan berbasis AR selama enam minggu untuk siswa kelas tiga secara signifikan meningkatkan pengetahuan, sikap, perilaku, dan kesadaran lingkungan siswa. Setelah intervensi AR, siswa mengungkapkan emosi positif terhadap pembelajaran tentang alam dan merasa AR membuat materi lebih mudah dipahami dan lebih menarik. Demikian pula, Bambang dkk. melaporkan bahwa proyek PBL tentang isu lingkungan secara efektif menanamkan sikap pro-lingkungan dan perilaku untuk bertindak. Bahkan Lampropoulos (2024) mencatat bahwa pembelajaran AR menumbuhkan “empati ekologis” pada siswa usia dini, memperdalam keterhubungan mereka dengan topik konservasi. Temuan-temuan ini menunjukkan bahwa ketika pembelajaran dikontekstualisasikan secara nyata (misalnya pada permasalahan lingkungan lokal) dan menggunakan metode imersif atau langsung (hands-on), siswa mengembangkan tidak hanya pengetahuan tetapi juga komitmen pribadi terhadap kepedulian lingkungan.

10. Pengembangan Profesional Guru

Penerapan metode inovatif yang efektif sangat bergantung pada dukungan guru. Literatur secara berulang mencatat bahwa guru memerlukan pelatihan khusus. Costa dkk. (2022) menunjukkan bahwa program PD terstruktur bagi guru sekolah dasar memberikan dampak positif yang kuat: para guru melaporkan peningkatan kemampuan dalam merancang tugas STEM terintegrasi dan mengamati peningkatan keterlibatan siswa. Mereka menekankan bahwa pelatihan tersebut sangat relevan bagi praktik mereka. Namun, tantangan tetap ada: Costa dan rekan-rekannya juga mengamati bahwa banyak guru pada awalnya kurang memiliki pengetahuan konten sains yang memadai (misalnya tentang bunyi atau kelistrikan), yang menyulitkan pengintegrasian STEM. Tanpa mengatasi kesenjangan ini, bahkan guru yang termotivasi sekalipun dapat kesulitan menciptakan pembelajaran yang efektif. Demikian pula, Botkin dan Trespalacios

(2026) menyoroti bahwa keberhasilan penggunaan VR/AR memerlukan keakraban guru dengan teknologi tersebut, serta mengingatkan bahwa masalah seperti mabuk gerak (motion sickness) perlu dikelola melalui bimbingan yang tepat. Secara ringkas, pengembangan profesional muncul sebagai faktor pendukung yang krusial: guru yang terlatih dapat memanfaatkan perangkat dan pendekatan inovatif untuk mewujudkan capaian sebagaimana ditemukan dalam penelitian, sementara guru yang tidak terlatih berisiko kurang memanfaatkan atau bahkan salah menerapkannya.

11. Pembelajaran Berbasis Inkuiri

Pendekatan berbasis inkuiri (termasuk inkuiri terbimbing dan pembelajaran penemuan) banyak dilaporkan. Banyak studi menyematkan inkuiri di dalam model STEAM atau proyek untuk mengajarkan topik ESS. Sebagai contoh, Akaygün dan Adadan (2021) menunjukkan bahwa unit inkuiri terbimbing tentang perubahan iklim secara signifikan meningkatkan pemahaman siswa kelas 4 terhadap konsep perubahan iklim (penyebab dan solusinya), dengan siswa meningkat dari sekitar 25% jawaban benar sebelum pembelajaran menjadi 50–85% setelah pembelajaran. Namun demikian, miskonsepsi yang tersisa masih bertahan, yang mengindikasikan perlunya perancangan (scaffolding) yang berkelanjutan. Jin (2025) mengkaji sebuah unit astronomi di mana siswa membuat representasi visual dari sistem planet; ia menemukan bahwa tugas-tugas tersebut berfungsi sebagai alat generatif, yang memungkinkan siswa bernalar secara aktif tentang fenomena yang kompleks. Siswa diamati mampu mengoordinasikan informasi dari berbagai sumber ke dalam model visual yang koheren (dengan menegosiasikan antara akurasi ilmiah dan daya tarik bagi audiens). Jin mencatat bahwa tugas inkuiri visual semacam ini mendorong pembelajaran aktif berbasis inkuiri, yang memungkinkan siswa mengintegrasikan pengetahuan, berkomunikasi secara efektif, dan mengambil kepemilikan atas pembelajaran mereka sendiri. Temuan-temuan ini menunjukkan bahwa tugas berorientasi inkuiri dan bersifat langsung (hands-on) dapat memperdalam pemahaman konseptual dengan melibatkan siswa dalam proses pemaknaan, meskipun diperlukan

perancangan yang cermat untuk mengatasi miskonsepsi yang tetap bertahan.

12. Tantangan

Beberapa studi secara eksplisit melaporkan tantangan dalam penerapannya. Salah satu isu yang umum adalah kesiapan guru: sebagaimana disebutkan, banyak guru sekolah dasar yang tidak merasa percaya diri dalam konten STEM atau ESS, yang menghambat integrasi inkuiri dan teknologi. Keterbatasan waktu dan sumber daya juga menjadi sorotan: aktivitas berbasis proyek dan inkuiri sering kali membutuhkan waktu kelas, materi, atau rasio guru-siswa yang lebih kecil dibandingkan pembelajaran konvensional. Botkin dkk. (2026) mengingatkan bahwa teknologi VR/AR dapat menimbulkan kendala logistik (biaya peralatan, perawatan) dan

ketidaknyamanan siswa (mabuk gerak). Czok dan Weitzel mencatat bahwa baik AR maupun GBL tidak secara otomatis lebih unggul satu sama lain, yang mengindikasikan bahwa sekadar menambahkan teknologi tidak menjamin pembelajaran yang lebih baik; keselarasan dengan pedagogi tetap menjadi hal yang esensial. Terakhir, variasi dalam desain penelitian membuat sulit untuk menggeneralisasi temuan: jenjang kelas, mata pelajaran, dan konteks yang berbeda dapat menghasilkan hasil yang beragam. Tantangan-tantangan ini menunjukkan perlunya perencanaan yang cermat: sekolah harus mendukung guru dengan pelatihan dan sumber daya, serta kurikulum harus memberi keleluasaan agar metode-metode ini dapat berhasil diterapkan.

Tabel 2. Ringkasan Pendekatan Pengajaran Inovatif

Strategi Pengajaran	Capaian Belajar	Kelebihan	Tantangan	Implikasi Pendidikan
Pembelajaran Berbasis Inkuiri	Pemahaman konseptual yang lebih mendalam; miskonsepsi yang terkoreksi; sikap siswa yang positif	Mendorong eksplorasi dan berpikir kritis; selaras dengan konstruktivisme; mendorong rasa kepemilikan	Mebutuhkan perancangan yang kuat; memakan banyak waktu; miskonsepsi siswa dapat bertahan pada tahap awal	Gunakan inkuiri terbimbing seputar topik ESS (misalnya proyek iklim lokal); sediakan materi pendukung bagi guru untuk mengatasi miskonsepsi umum.
Integrasi STEM	Peningkatan literasi sains dan keterlibatan; pengembangan keterampilan abad ke-21	Mengontekstualisasikan sains dalam permasalahan nyata; mengintegrasikan matematika/teknologi secara mulus; memotivasi melalui relevansi	Ambiguitas dalam definisi/implementasi; membutuhkan pengetahuan konten guru; keterbatasan kurikulum	Sediakan PD agar guru dapat merancang tugas STEM dunia nyata yang sesuai usia; selaraskan standar untuk mendukung proyek lintas disiplin.
Pendidikan STEAM	Peningkatan motivasi dan perubahan konseptual; mengakomodasi keragaman siswa	Seni menyediakan representasi alternatif; meningkatkan kreativitas dan keterlibatan; dapat mengungkap miskonsepsi	Dapat mengaburkan ketelitian sains jika tidak terfokus; membutuhkan sumber daya seni	Padukan menggambar, musik, atau drama ke dalam pembelajaran ESS (misalnya memodelkan gerak planet melalui tarian); latih guru dalam integrasi seni.
Pembelajaran Berbasis Proyek (PBL)	Literasi sains, pemecahan masalah, dan	Melibatkan siswa dalam permasalahan yang autentik;	Mebutuhkan banyak waktu, perencanaan, dan	Terapkan PBL berbasis komunitas (misalnya kebun

Strategi Pengajaran	Capaian Belajar	Kelebihan	Tantangan	Implikasi Pendidikan
	kesadaran lingkungan yang lebih tinggi	menumbuhkan kolaborasi dan komunikasi; mengintegrasikan berbagai mata pelajaran	materi; penilaian dapat menjadi kompleks	sekolah untuk ekologi); gunakan rubrik untuk proses dan konten; libatkan pakar/praktisi untuk relevansi dunia nyata.
Pembelajaran Berbasis Permainan (GBL)	Peningkatan keterlibatan, motivasi, dan capaian kognitif	Memanfaatkan unsur kesenangan dan kompetisi; memberikan umpan balik instan; menarik bagi beragam siswa	Kualitas desain bervariasi; risiko lebih berfokus pada kesenangan dibanding pembelajaran; kendala teknis	Gunakan permainan/kuis edukatif (digital atau analog) yang selaras dengan konten ESS (misalnya trivia tata surya); pastikan ada diskusi refleksi untuk mengonsolidasikan pembelajaran.
Pembelajaran Digital/AR/VR	Peningkatan visualisasi konsep abstrak dan transfer pengetahuan; retensi jangka panjang yang lebih tinggi (VR)	Imersif dan interaktif; dapat mensimulasikan fenomena yang sulit diakses; sangat menarik	Akses terhadap perangkat/alat VR; perlunya pelatihan guru; potensi mabuk gerak	Terapkan aplikasi AR untuk kunjungan lapangan (misalnya eksplorasi Bumi) atau laboratorium VR untuk antarksa; mulai dengan opsi berbiaya rendah (misalnya penampil berbasis smartphone) lalu tingkatkan skalanya; latih guru dalam penggunaan alat.
Pembelajaran Kolaboratif	Keterlibatan siswa dan keterampilan sosial yang lebih besar; pembangunan pemahaman konseptual bersama	Mendorong pengajaran antarteman sebaya; mencerminkan kerja ilmiah yang autentik; mendukung keragaman siswa	Membutuhkan manajemen kelas dan keterampilan berkelompok; potensi perilaku di luar tugas	Rancang tugas kelompok (misalnya membangun model habitat bersama); ajarkan keterampilan kerja sama; putar peran (pemimpin, pencatat, dsb.).
Fokus Literasi Sains	Peningkatan penggunaan penalaran ilmiah; penerapan konsep pada konteks baru	Menekankan keterampilan hakikat sains (berargumen berdasarkan bukti, pemodelan); mengarah pada pemahaman yang lebih mendalam	Sering kali lebih sulit diukur; membutuhkan pengajaran eksplisit tentang keterampilan literasi	Sertakan refleksi eksplisit tentang bagaimana kita mengetahui sesuatu (misalnya menganalisis data dari simulasi AR); dorong diskusi sains di mana

Strategi Pengajaran	Capaian Belajar	Kelebihan	Tantangan	Implikasi Pendidikan
				siswa menjelaskan gagasan mereka.

13. Implikasi Praktis

Bagi guru, mamadukan berbagai strategi pembelajaran aktif ke dalam pengajaran sains. Mulailah unit pembelajaran dengan aktivitas langsung (hands-on) atau artistik (STEAM) untuk menarik minat, kemudian lanjutkan dengan tugas inkuiri. Gunakan tugas berbasis proyek yang melibatkan isu lingkungan atau astronomi lokal agar pembelajaran menjadi bermakna. Integrasikan permainan, aplikasi AR, atau model virtual untuk memvisualisasikan konsep-konsep yang sulit (misalnya lapisan Bumi, fase Bulan) sembari membimbing siswa untuk merefleksikan apa yang mereka amati. Ketika menggunakan alat digital, pastikan alat tersebut mendukung tujuan pembelajaran; misalnya, ajak siswa berdiskusi dan menuliskan apa yang digambarkan oleh simulasi atau pengalaman AR untuk memperkuat pemahaman. Dorong kolaborasi dengan membiarkan siswa bekerja dalam tim untuk eksperimen atau pembuatan model. Terus dorong siswa untuk menjelaskan penalaran mereka (melalui gambar, presentasi, atau mengajar sesama teman) guna memperkuat pemahaman konseptual.

Bagi Sekolah dan Pengembang Kurikulum: Sediakan infrastruktur dan sumber daya untuk mendukung metode-metode ini – misalnya tablet untuk aplikasi AR, perangkat laboratorium untuk eksperimen, dan waktu kelas untuk proyek jangka panjang. Selaraskan kurikulum agar memungkinkan penggunaan inkuiri dan PBL secara fleksibel (bukan hanya mengikuti jadwal yang berbasis buku teks semata). Topik ilmu bumi dan antariksa perlu diintegrasikan secara eksplisit ke dalam modul STEM/STEAM. Sebagai contoh, sebuah unit tentang “cuaca dan iklim” dapat mencakup perancangan infografis artistik tentang siklus karbon atau penggunaan penampil AR sederhana untuk menjelajahi lapisan atmosfer. Dorong keterkaitan interdisipliner (misalnya keterampilan matematika untuk

menghitung jarak antarplanet, seni untuk mengilustrasikan konsep-konsep ilmiah).

Bagi Pembuat Kebijakan dan Administrator: Berinvestasilah dalam pengembangan profesional guru yang berfokus pada pedagogi sains yang inovatif. Bukti-bukti menunjukkan bahwa PD (misalnya lokakarya integrasi STEM atau penggunaan AR) meningkatkan kapasitas guru dan capaian siswa. Dukungan pendanaan untuk teknologi kelas (bahkan AR berbiaya rendah melalui telepon pintar) serta alokasi waktu untuk perencanaan kolaboratif sangat penting. Kenali dan hargai pengajaran yang inovatif melalui insentif atau program penghargaan. Kebijakan hendaknya menekankan literasi lingkungan dan antariksa dalam standar sains, sejalan dengan urgensi isu-isu global (perubahan iklim, pengelolaan sumber daya) yang menjadi fokus pendidikan ESS.

Bagi Pendidikan Guru: Program persiapan guru hendaknya melatih calon guru dalam strategi pengajaran berbasis inkuiri, PBL, dan yang ditingkatkan dengan teknologi. Sematkan modul tentang penggunaan AR/VR dan permainan untuk pembelajaran sains, disertai panduan untuk menilai pemahaman konseptual. Tekankan metode yang responsif secara budaya: karena seni dan bercerita dapat membantu siswa pembelajar bahasa Inggris (Corrigan dkk, 2025), pelatihan guru hendaknya mencakup penyesuaian tugas STEAM untuk kelas-kelas yang beragam. Selain itu, fokuslah pada penguatan pengetahuan konten sains guru itu sendiri; sebagaimana dicatat berbagai studi, kurangnya penguasaan konten menghambat inovasi. Pendampingan berkelanjutan dan komunitas belajar dapat membantu guru baru maupun senior untuk terus menyempurnakan praktik mengajar mereka secara berulang.

D. KESIMPULAN

Tinjauan komprehensif ini menemukan bukti yang kuat bahwa pendekatan pembelajaran aktif yang inovatif dapat secara signifikan meningkatkan pemahaman dan

keterlibatan siswa sekolah dasar dalam ilmu bumi dan antariksa. Metode berbasis inkuiri dan berbasis proyek secara konsisten menghasilkan perubahan konseptual dan literasi sains yang lebih mendalam, terutama ketika berlandaskan pada konteks dunia nyata atau lingkungan. Pengintegrasian teknologi, mulai dari permainan sederhana hingga AR/VR, semakin meningkatkan motivasi dan memberikan pengalaman konkret terhadap fenomena abstrak. Yang menarik, strategi STEAM-first (seni sebelum sains formal) menunjukkan potensi khusus dalam mengarahkan siswa menuju pemahaman ilmiah yang benar. Agar manfaat-manfaat ini dapat terwujud secara luas, dukungan guru yang substansial menjadi hal yang esensial – baik dalam pengetahuan konten maupun pelatihan pedagogis. Singkatnya, studi-studi yang ditinjau dalam artikel ini menyarankan strategi multi-arah: memperkaya sains di sekolah dasar dengan inkuiri, kolaborasi, teknologi, dan kreativitas guna menumbuhkan pembelajar yang melek sains, terlibat aktif, dan siap menghadapi tantangan abad ke-21.

E. REFERENSI

- Akaygün, S., & Adadan, E. (2021). Fostering senior primary school students' understanding of climate change in an inquiry-based learning environment. *Education 3–13*, 49(3), 294–308. <https://doi.org/10.1080/03004279.2020.1854961>.
- Alotaibi, M. S. (2024). Game-based learning in early childhood education: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 15, 1307881. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1307881>
- Botkin, M. D., & Trespalacios, J. H. (2026). Identifying Virtual/Augmented Reality Research in K–12 Science Education: A Scoping Study. *TechTrends*, 70, 138–149. <https://doi.org/10.1007/s11528-025-01138-1>.
- Corrigan, M. W., Wong, J. T., Grove, D., Andersen, S., & Hughes, B. S. (2025). Enhancing elementary students' conceptual understandings of scientific phenomena: The impact of STEAM-first and STEM-first approaches. *Science Education*, 109(5), 1336–1364. <https://doi.org/10.1002/sce.21942>.
- Costa, M. C., Dias Domingos, A. M., Teodoro, V. D., & Vinhas, E. M. G. (2022). Teacher professional development in STEM education: An integrated approach with real-world scenarios in Portugal. *Mathematics*, 10(21), 3944. <https://doi.org/10.3390/math10213944>
- Czok, V., & Weitzel, H. (2025). Impact of augmented reality and game-based learning for science teaching: Lessons from pre-service teachers. *Applied Sciences*, 15(5), 2844. <https://doi.org/10.3390/app15052844>.
- Jin, Q. (2025). Exploring elementary students' learning of astronomy through constructing visual representations. *Discover Education*, 4(3), 418–433. <https://doi.org/10.1007/s44217-025-00861-4>
- Karnoto, B. K., Dwiyanto, D., & Arsyad, M. (2025). The impact of project-based learning on students' science literacy and environmental awareness: A comprehensive review. *Journal of Pedagogy*, 2(5), 374–381. <https://doi.org/10.62872/80h4ry59>.
- Lampropoulos, G. (2024). Teaching and learning natural sciences using augmented reality in preschool and primary education: A literature review. *Advances in Mobile Learning Educational Research*, 4(1), 13. <https://doi.org/10.25082/AMLER.2024.01.013>.
- Ozturk, E., & Akcay, G. (2023). Can environmental education supported by augmented reality (AR) applications improve the environmental awareness of primary school students? *The Eurasia Proceedings of Educational and Social Sciences (EPESS)*, 31, 216–229. <https://doi.org/10.55549/epess.1381983>.