

Inovasi Teknologi dalam Pembelajaran IPA Sekolah Dasar di Era Digital Abad 21

Jeane Kalengkongan¹, Selfia Montori², Gloria Lengkong³, Denisa Caroles⁴, Widdy H. F. Rorimpandey⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Negeri Manado, Indonesia

E-mail: jeanekalengkongan@unima.ac.id¹, selfiamontori13@gmail.com², nhysacaroles04@gmail.com³, glorialengkong@gmail.com⁴, widdyrorimpandey@unima.ac.id⁵

Article History:

Received: 11 November 2025

Revised: 27 November 2025

Accepted: 06 Desember 2025

Keywords: pembelajaran IPA, teknologi pendidikan, systematic literature review, augmented reality, simulasi virtual, kompetensi abad ke-21.

Abstract: Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi pada era digital abad ke-21 telah memberikan pengaruh besar terhadap dunia pendidikan, terutama pada transformasi metode dan pendekatan pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) di Sekolah Dasar. Sebagai mata pelajaran yang bersifat konseptual dan eksperimental, IPA menuntut strategi pembelajaran yang inovatif, kontekstual, dan mampu menstimulasi kemampuan berpikir kritis serta keterampilan ilmiah siswa. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi dan menganalisis berbagai inovasi teknologi yang diterapkan dalam pembelajaran IPA melalui metode Systematic Literature Review (SLR). Artikel ilmiah terpilih dalam rentang 2015–2025 dikaji secara sistematis berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang ketat. Temuan penelitian menunjukkan bahwa teknologi seperti Augmented Reality, simulasi virtual, permainan edukatif, video interaktif, dan Learning Management System terbukti meningkatkan pemahaman konsep, motivasi belajar, keterlibatan siswa, serta keterampilan berpikir kritis dan kreatif. Meskipun demikian, implementasinya menghadapi hambatan, antara lain keterbatasan infrastruktur digital, rendahnya kompetensi teknologi guru, serta minimnya dukungan kebijakan yang berkelanjutan. Penelitian ini merekomendasikan pemanfaatan teknologi yang terencana, relevan dengan konteks sekolah, dan berorientasi pada penguatan kompetensi abad ke-21 untuk mendorong pembelajaran IPA yang lebih adaptif dan bermakna.

PENDAHULUAN

Di era digital abad ke-21, sistem pendidikan mengalami pergeseran paradigma yang signifikan. Tidak lagi cukup bagi siswa hanya menguasai pengetahuan faktual, khususnya dalam bidang Ilmu Pengetahuan Alam (IPA). Saat ini, siswa Sekolah Dasar (SD) dituntut memiliki kompetensi berpikir kritis, kemampuan berpikir ilmiah (*scientific literacy*), kreativitas, keterampilan kolaboratif, serta kemampuan menghubungkan konsep IPA dengan isu-isu

kontekstual seperti keberlanjutan (*sustainability*), perubahan iklim, dan perkembangan teknologi. Hal ini sejalan dengan tuntutan global yang tertuang dalam kerangka pembelajaran abad ke-21, yang menekankan pada penguasaan keterampilan berpikir tingkat tinggi dan adaptabilitas terhadap perkembangan teknologi yang pesat (Tsaqofah *et al.*, n.d.).

Teknologi digital seperti tablet, aplikasi berbasis Android/iOS, *Augmented Reality* (AR), *Virtual Reality* (VR), serta simulasi interaktif telah menjadi bagian tak terpisahkan dalam kehidupan anak-anak. Dalam konteks pembelajaran, berbagai inovasi ini berpotensi besar untuk mentransformasi cara guru mengajar dan siswa belajar, khususnya pada mata pelajaran IPA yang menuntut pemahaman konsep-konsep abstrak dan keterampilan proses ilmiah. Misalnya, konsep sistem tata surya, siklus air, atau fotosintesis yang sulit dipahami secara abstrak dapat divisualisasikan dengan lebih konkret melalui media AR atau simulasi digital. Dengan demikian, teknologi dapat berperan sebagai fasilitator dalam mengoptimalkan pencapaian tujuan pembelajaran yang lebih bermakna dan kontekstual (Sutrisno, S. (2023).

Transformasi ini menuntut peran aktif guru sebagai agen perubahan. Guru dituntut untuk tidak hanya berperan sebagai penyampai informasi, tetapi juga sebagai desainer pembelajaran yang mampu menciptakan lingkungan belajar yang interaktif, kolaboratif, dan relevan dengan dunia digital anak-anak saat ini. Pengintegrasian teknologi dalam pembelajaran IPA memungkinkan guru memperluas ruang kelas secara virtual dan membuka peluang pembelajaran di luar batasan fisik sekolah. Misalnya, penggunaan aplikasi berbasis lokasi untuk mengenal ekosistem lokal atau eksplorasi lapangan virtual melalui VR. Strategi ini sejalan dengan pendekatan pembelajaran berbasis proyek (*Project-Based Learning*) dan *Inquiry Learning* yang mendorong keterlibatan aktif siswa dalam membangun pengetahuan mereka sendiri.

Namun demikian, pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran IPA di SD tidak lepas dari berbagai tantangan. Salah satu tantangan utama adalah keterbatasan infrastruktur dan ketersediaan perangkat yang memadai di semua satuan pendidikan. Banyak sekolah, terutama di wilayah 3T (Terdepan, Terluar, Dan Tertinggal), belum memiliki akses yang cukup terhadap perangkat TIK dan jaringan internet yang stabil. Selain itu, kesiapan guru dalam mengadopsi teknologi juga menjadi faktor penentu keberhasilan integrasi inovasi ini. Tidak semua guru memiliki literasi digital yang memadai atau kesempatan pelatihan yang berkelanjutan. Tantangan lainnya adalah kesesuaian antara media digital yang digunakan dengan kurikulum nasional serta karakteristik perkembangan peserta didik usia SD, yang menuntut pendekatan pedagogis yang adaptif dan sesuai perkembangan psikologis anak.

Melihat pentingnya peran teknologi dalam meningkatkan efektivitas pembelajaran IPA, maka diperlukan telaah ilmiah yang komprehensif untuk mengidentifikasi berbagai inovasi yang telah dikembangkan, dampaknya terhadap hasil belajar siswa, serta hambatan yang dihadapi dalam proses implementasinya. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR). Metode SLR memungkinkan peneliti untuk mengumpulkan, menyeleksi, dan menganalisis berbagai studi empiris secara sistematis, sehingga dapat menghasilkan pemahaman yang mendalam dan *Evidence-Based* terkait integrasi teknologi dalam pembelajaran IPA di tingkat SD (Maharani *et al.*, 2025).

SLR ini bertujuan untuk menjawab beberapa pertanyaan utama, antara lain:

1. Mengidentifikasi macam-macam inovasi teknologi yang dipakai dalam pembelajaran IPA SD.
2. Mengevaluasi efektivitasnya terhadap pemahaman konsep, motivasi, keterampilan IPA siswa (keterampilan proses, kritis, kolaboratif)
3. Apa tantangan yang dihadapi guru dan sekolah dalam mengimplementasikan teknologi

pembelajaran?

4. Apa implikasi dari temuan ini bagi pengembangan kurikulum, pelatihan guru, serta kebijakan pendidikan secara umum?

Hasil telaah ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dan praktis dalam mengembangkan pendekatan pembelajaran IPA yang adaptif terhadap perkembangan teknologi serta kebutuhan pembelajaran abad ke-21. Dengan demikian, inovasi teknologi tidak hanya menjadi tren, tetapi juga solusi strategis dalam menciptakan pembelajaran IPA yang lebih bermakna, menyenangkan, dan relevan dengan kehidupan siswa.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mensintesis berbagai studi yang membahas integrasi inovasi teknologi dalam pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) di tingkat Sekolah Dasar (SD). Pendekatan ini memungkinkan peneliti memperoleh pemahaman yang komprehensif dan berbasis bukti (*Evidence-Based*) mengenai tren, manfaat, serta tantangan yang muncul dalam konteks tersebut. SLR dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan yang dijelaskan sebagai berikut. Langkah awal dalam SLR adalah merumuskan pertanyaan penelitian secara jelas dan terfokus. Pertanyaan penelitian yang diajukan dalam studi ini adalah:

1. Apa saja inovasi teknologi yang digunakan dalam pembelajaran IPA di Sekolah Dasar?
2. Bagaimana dampak penggunaan teknologi terhadap proses pembelajaran dan hasil belajar siswa?
3. Apa saja tantangan dalam implementasi teknologi tersebut di tingkat pendidikan dasar?

Seleksi literatur dilakukan secara sistematis guna memastikan bahwa artikel yang dianalisis relevan dengan tujuan dan ruang lingkup penelitian, khususnya dalam konteks penggunaan teknologi digital dalam pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) di tingkat Sekolah Dasar. Proses ini dilakukan dengan mengacu pada kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Kriteria Inklusi mencakup artikel yang:

1. Diterbitkan dalam rentang waktu 2015 hingga 2025, guna menjamin bahwa informasi yang dikaji bersifat mutakhir dan relevan dengan perkembangan terkini dalam dunia pendidikan.
2. Ditulis dalam bahasa Indonesia atau Inggris, sehingga mencakup sumber literatur dari konteks nasional maupun internasional.
3. Secara spesifik membahas pembelajaran IPA di tingkat Sekolah Dasar, sesuai dengan fokus penelitian pada pendidikan dasar.
4. Menyajikan kajian mengenai penggunaan teknologi digital dalam proses pembelajaran IPA, baik dalam bentuk alat bantu pengajaran, media pembelajaran interaktif, maupun platform digital lainnya.
5. Merupakan hasil penelitian empiris, baik dengan pendekatan kuantitatif, kualitatif, maupun metode campuran (*mixed methods*), dan telah dipublikasikan melalui proses *peer-review* untuk menjamin kredibilitas dan validitasnya.

Kriteria Eksklusi digunakan untuk menyaring artikel yang tidak memenuhi standar kelayakan, meliputi:

1. Artikel yang bersifat konseptual atau opini tanpa didukung oleh data empiris, karena tidak memberikan bukti yang cukup untuk dianalisis secara ilmiah.
2. Studi yang tidak berfokus pada pendidikan dasar atau tidak mengkaji aspek penggunaan teknologi dalam pembelajaran IPA.
3. Artikel yang merupakan duplikasi dari sumber yang sama atau versi yang belum final, untuk

menghindari data yang berulang atau belum tervalidasi secara resmi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Telaah Literatur

Berdasarkan analisis literatur yang memenuhi kriteria, berikut temuan:

Tabel 1. Penelitian Inovasi Teknologi dalam Pembelajaran IPA Sekolah Dasar di Era Digital Abad 21

No	Judul Artikel	Penulis & Tahun	Hasil / Temuan Utama	Inovasi / Teknologi Yang Digunakan	Aspek Yang Disempurnakan / Kontribusi
1	Technology-Enhanced Science Teaching For 21st-Century Learning: A Systematic Review of Evidence-Based Strategies and Their Alignment with SDG 4	Sayadi & Pangandaman (2025)	Strategi pembelajaran sains berbasis teknologi (AR/VR, platform kolaboratif, alat interaktif) efektif meningkatkan keterlibatan, literasi ilmiah, pemahaman konsep, dan motivasi. Keberhasilan sangat dipengaruhi kesiapan guru, akses teknologi, dan kualitas desain pembelajaran.	Teknologi imersif (AR/VR) untuk model 3D dan simulasi interaktif yang menghidupkan fenomena sains.	Menekankan bahwa teknologi harus diintegrasikan secara pedagogis (inquiry/project-based), didukung pelatihan guru, infrastruktur, kebijakan, dan sistem penjaminan mutu agar selaras dengan SDG 4 (inklusi, keberlanjutan, dan kualitas pembelajaran sains).
2	Systematic Literature Review: The Effectiveness of Technology in Education	Abdan <i>et al.</i> (2025)	Teknologi terbukti efektif meningkatkan motivasi, minat, dan hasil belajar siswa. Multimedia interaktif menjadi pendekatan paling banyak direkomendasikan, disusul AI, VR, dan video animasi.	Multimedia interaktif (teks, gambar, suara, video, animasi) yang dikendalikan komputer, serta pemanfaatan AI, blockchain, dan gamifikasi.	Menawarkan pemetaan jenis teknologi, faktor pendukung (infrastruktur, kualitas pendidik, metode), dan rekomendasi eksplorasi teknologi baru sehingga menyediakan dasar evaluatif dan arah strategis bagi inovasi teknologi pendidikan.
3	Systematic Literature Review E-Module in Digitization of Learning in Elementary Schools	Faidah <i>et al.</i> (2025)	E-modul di SD dinilai valid ($\geq 90\%$), praktis, dan efektif dalam meningkatkan hasil belajar, motivasi, literasi sains, berpikir kritis, dan kemandirian. Tantangan utama terkait keterbatasan infrastruktur digital dan kompetensi guru.	E-modul berbasis web/aplikasi dengan multimedia interaktif (video, narasi, kuis, simulasi digital) yang dapat diakses fleksibel.	Menguatkan peran e-modul dalam digitalisasi pembelajaran SD dan menekankan perlunya penguatan infrastruktur serta pelatihan guru untuk optimalisasi pemanfaatan e-modul bagi kebutuhan belajar generasi digital.
4	Transformasi Pembelajaran IPA di SD: Pemanfaatan Alat Peraga dan Teknologi Digital untuk Meningkatkan Pemahaman Siswa	(Surya & Pebriana, 2025)	Pelatihan penggunaan alat peraga dan media digital IPA meningkatkan pengetahuan, keterampilan, dan kepercayaan diri guru. Pemahaman media digital naik dari 35% menjadi 85%, dan mayoritas guru mampu mengintegrasikannya dalam RPP.	Aplikasi pembelajaran, simulasi, video edukatif, model 3D, dan perangkat lunak interaktif yang dipadukan dengan alat peraga fisik.	Menyempurnakan kompetensi guru dalam merancang pembelajaran interaktif, memvisualisasikan konsep abstrak, menyesuaikan gaya belajar siswa, dan menjadikan pembelajaran IPA lebih kreatif, menyenangkan, dan inklusif.
5	Pembelajaran IPA Berbasis Teknologi dan Informasi dan Komunikasi	Abda'u Ansya <i>et al.</i> (2025)	TIK meningkatkan motivasi, pemahaman konsep, dan keterampilan berpikir kritis-analitis siswa. Pembelajaran menjadi lebih interaktif dan relevan dengan kehidupan modern, meski masih terkendala fasilitas dan pendekatan inovatif yang merata.	Simulasi virtual, perangkat analisis data digital, aplikasi interaktif TIK, AR, dan VR untuk eksperimen virtual dan pembelajaran kolaboratif.	Menunjukkan bahwa TIK memperluas akses, variasi media, dan visualisasi konsep abstrak serta mengembangkan literasi digital, pemecahan masalah, dan kolaborasi. Menekankan pentingnya laboratorium virtual dan lingkungan belajar adaptif yang inklusif.
6	Contextual-Based Interactive Learning Video Media to Improve Science Learning Outcomes of Grade VI Elementary	(Sariwedani <i>et al.</i> , 2025)	Video pembelajaran interaktif berbasis kontekstual sangat layak dan praktis digunakan serta berpengaruh signifikan terhadap peningkatan hasil belajar IPA siswa (t hitung	Video digital interaktif berbasis konteks, menggabungkan elemen visual, audio, dan fitur interaktif yang dapat diakses offline maupun	Menyempurnakan desain media (visual menarik, teks/audio jelas, animasi mendukung, petunjuk operasional) serta validasi materi sesuai standar

	School Students		15,169 > t tabel 1,703; $\alpha = 5\%$).	online.	pembelajaran sehingga meningkatkan efektivitas dan kualitas hasil belajar.
7	What Is the Future of Augmented Reality in Science Teaching and Learning? An Exploratory Study on Primary and Pre-School Teacher Students' Views	Peikos & Sofianidis (2024)	Calon guru memandang AR sangat potensial untuk pengajaran sains di prasekolah/SD dan menunjukkan optimisme tinggi, namun menekankan kebutuhan pelatihan dan dukungan institusional.	AR sebagai alat bantu pengembangan bahan ajar melalui platform ARTutor; mahasiswa terlibat sebagai kreator dan pengguna materi AR dalam kerangka inquiry-based learning.	Menunjukkan bahwa AR meningkatkan motivasi, partisipasi, dan visualisasi konsep abstrak sekaligus mengembangkan kreativitas dan kompetensi digital calon guru; menegaskan pentingnya integrasi AR dalam pedagogi berbasis inquiry.
8	Educational Technologies and Elementary Level Education – A Bibliometric Review of Scopus Indexed Journal Articles	Boateng <i>et al.</i> (2024)	Penelitian mengungkap tren peningkatan pesat riset teknologi pendidikan di SD, dengan tema dominan pelatihan guru, game-based learning, dan pembelajaran kolaboratif. Terdapat kekosongan di mata pelajaran tertentu, aspek etika, gender, disabilitas, dan keterlibatan siswa.	Analisis bibliometrik berbasis Scopus dengan pemetaan tren publikasi, tema utama, dan kolaborasi institusi/negara.	Memberikan peta penelitian teknologi pendidikan SD secara komprehensif, mengidentifikasi gap (etika, inklusivitas, mata pelajaran spesifik), serta merekomendasikan kolaborasi internasional dan perluasan sumber data di luar artikel jurnal.
9	Augmented Reality / Virtual Reality sebagai Media Pembelajaran IPA & IPS di SD	Rahmiati <i>et al.</i> (2024)	Penggunaan VR/AR meningkatkan hasil belajar dan keterampilan berpikir tingkat tinggi (HOTS) melalui visualisasi mendalam dan simulasi interaktif, terutama pada topik abstrak seperti tata surya dan ekosistem. Tantangan utama adalah infrastruktur, biaya, dan pelatihan guru.	VR untuk simulasi 3D eksploratif dan AR untuk visualisasi konsep ilmiah di dunia nyata (image recognition, markerless, projection, superimposition).	Menunjukkan VR/AR sebagai pelengkap metode konvensional yang meningkatkan pemahaman konsep abstrak, motivasi, dan keterlibatan, serta mendorong pengembangan HOTS dan kolaborasi siswa.
10	Gamification and Game Based Learning in Primary Education: A Bibliometric Analysis	Magpusao (2024)	Minat dan aktivitas riset gamifikasi dan game-based learning di pendidikan dasar meningkat (2013–2023), meski publikasi dan kolaborasi masih terbatas. Pendekatan ini konsisten meningkatkan keterlibatan, motivasi, dan hasil belajar.	Analisis bibliometrik berbasis Scopus dengan pemetaan visual melalui VOSviewer untuk tema, kolaborasi, dan co-citation.	Menyediakan gambaran sistematis tentang perkembangan dan dinamika riset gamifikasi di SD, sekaligus menyoroti keterbatasan (ketergantungan pada satu basis data, minim kolaborasi internasional) dan kebutuhan perluasan kajian empiris di lapangan.
11	Peran Penting Teknologi dalam Pendidikan Sains: Pengembangan dan Validasi Media Pembelajaran Berbasis Android dengan App Inventor untuk Pemahaman Materi Gelombang Cahaya	Ghani Fauzan Fasna <i>et al.</i> (2024)	Media Android berbasis App Inventor untuk gelombang cahaya terbukti valid, bermanfaat, dan efektif (N-Gain 0,478; kategori sedang) meningkatkan penguasaan materi, minat, dan partisipasi siswa.	Aplikasi Android interaktif yang dikembangkan dengan MIT App Inventor, berisi video, latihan soal, dan fitur interaktif terkait gelombang cahaya yang dapat diakses melalui smartphone.	Menyempurnakan fleksibilitas, kemandirian belajar, dan relevansi materi melalui contoh konteks kehidupan sehari-hari, serta menunjukkan bahwa media mobile learning dapat mengatasi batas ruang dan waktu pembelajaran konvensional.
12	Profil Penggunaan ICT sebagai Media Pembelajaran IPA di Sekolah: Sebuah Literature Review	Kadek Sintya Purnama Sari <i>et al.</i> , (2024)	ICT dalam pembelajaran IPA/Biologi di Indonesia meningkatkan minat, motivasi, hasil belajar, dan kreativitas siswa sekaligus kompetensi guru melalui TPACK. Namun penerapannya terkendala infrastruktur dan literasi teknologi guru.	Model pembelajaran berbasis ICT yang memanfaatkan simulasi, video interaktif, aplikasi mobile, dan platform digital dalam kerangka TPACK dan Project Based Learning.	Menekankan kebutuhan pelatihan berkelanjutan, penguatan TK guru, serta pengembangan model pembelajaran berbasis ICT yang mampu memperkuat literasi sains, berpikir kritis, dan profesionalisme guru.
13	Inovasi dalam Pengajaran IPA di Sekolah Dasar melalui Penggunaan	Siti Fatimah <i>et al.</i> (2024)	Integrasi teknologi digital (AR, VR, e-learning) dalam pembelajaran IPA SD meningkatkan motivasi,	AR untuk model 3D interaktif, VR untuk simulasi ilmiah imersif, aplikasi interaktif, dan	Menegaskan kontribusi teknologi digital dalam meningkatkan motivasi, kemandirian belajar, dan

	Teknologi Digital		keterlibatan, dan hasil belajar melalui pengalaman belajar interaktif dan mendalam; namun masih terkendala infrastruktur dan kesiapan guru.	platform e-learning untuk pembelajaran fleksibel dan kolaboratif.	pemahaman konsep IPA, sekaligus menyoroti kebutuhan pelatihan guru dan investasi teknologi untuk keberlanjutan inovasi.
14	Analysis of the Effectiveness of Using Augmented Reality (AR) on Science Learning in Elementary Schools: A Systematic Literature Review	Azzahra & Ayu Kristiana Dewi (2024)	AR di pembelajaran IPA SD meningkatkan pemahaman materi, motivasi, dan hasil belajar; mempermudah pemahaman konsep abstrak, menurunkan beban kognitif, dan memperkaya pengalaman belajar.	AR berbasis smartphone/tablet yang menggabungkan elemen digital dengan lingkungan nyata untuk visualisasi konsep abstrak secara interaktif.	Memberikan gambaran komprehensif tentang dampak AR dan merekomendasikan guru agar lebih kreatif dalam integrasinya, sambil menyoroti hambatan utama berupa kurangnya pelatihan guru dan kebutuhan dukungan institusional.
15	Augmented Reality in Science Learning: A Systematic Literature Review	Zufahmi <i>et al.</i> (2025)	AR dalam pembelajaran sains meningkatkan visualisasi konsep, motivasi, pengalaman belajar, serta keterampilan spasial dan kolaboratif; studi quasi-eksperimen di beberapa negara menunjukkan AR membuat pembelajaran lebih menarik dan efektif.	AR yang menggabungkan dunia nyata dengan model 3D, gambar, video, dan animasi interaktif untuk pembelajaran sains.	Menunjukkan bahwa AR memperdalam pemahaman konsep abstrak, meningkatkan partisipasi aktif dan berpikir kritis, serta menyediakan fleksibilitas akses melalui perangkat mobile/komputer di berbagai jenjang pendidikan.
16	Augmented Reality in Natural Sciences and Biology Teaching: Systematic Literature Review and Meta Analysis	Faria & Miranda (2024)	AR berpengaruh positif signifikan terhadap hasil belajar ($d = 1,13$) dan motivasi ($d = 0,52$) dalam IPA/Biologi, meningkatkan pemahaman konsep, memori jangka panjang, keterlibatan, dan kepercayaan diri siswa.	AR berbasis Unity dan Vuforia yang memvisualisasikan objek/fenomena kompleks dalam model 3D dan dikombinasikan dengan model 5Es serta inquiry-based learning.	Menyempurnakan penggunaan AR melalui aplikasi yang interaktif, realistis, mudah diakses, dan berlandaskan strategi pedagogis yang jelas sehingga mengurangi beban kognitif dan memperkuat visualisasi objek mikroskopis.
17	Effectiveness of Virtual Reality in Elementary School: A Meta Analysis of Controlled Studies	Lara-Alvarez <i>et al.</i> (2023)	VR di sekolah dasar menunjukkan efek sedang terhadap hasil belajar ($SMD = 0,64$). Tidak ada perbedaan signifikan antara VR tethered dan mobile, serta efektivitas tidak bergantung pada jenis media pembandingan.	VR tethered (6DoF) dan mobile (3DoF) dengan berbagai perangkat (mis. Google Cardboard, Samsung Gear VR) yang terjangkau untuk konteks SD.	Menguatkan bukti efektivitas VR melalui meta-analisis PRISMA, menilai variasi teknologi (DoF, perangkat), kualitas studi, dan bias publikasi, serta memberi implikasi praktis bagi adopsi VR di pendidikan dasar.
18	Pemanfaatan Teknologi dalam Pembelajaran IPA sebagai Upaya Peningkatan Hasil Belajar	Kajian <i>et al.</i> (n.d.)	Media berbasis teknologi secara signifikan meningkatkan nilai rata-rata, persentase ketuntasan, minat, dan keaktifan siswa IPA.	Web (CMS), e-book EPUB, video pembelajaran, Google Classroom, Quizizz, komputer interaktif, dan media demonstrasi.	Menunjukkan bahwa kombinasi berbagai media digital dan platform daring mampu meningkatkan efektivitas, efisiensi, kemandirian, dan kolaborasi belajar siswa IPA.
19	Development of Contextual Teaching and Learning-Based Test Instruments to Improve 21st Century Skills in Students	Akmal & Festiyed (2023)	Instrumen tes berbasis CTL yang dikembangkan memenuhi kriteria validitas, reliabilitas tinggi (0,933), tingkat kesukaran, dan daya pembeda yang baik, serta efektif mengukur keterampilan abad 21 (4C).	Instrumen tes CTL yang mengintegrasikan soal HOTS untuk mengukur kreativitas, komunikasi, kolaborasi, dan berpikir kritis dalam konteks nyata.	Menyempurnakan asesmen keterampilan abad 21 melalui instrumen yang valid, reliabel, beragam tingkat kesukaran, dan menghubungkan konsep fisika dengan konteks kehidupan sehari-hari.
20	Designing Technology-Enhanced Science Experiments in Elementary Teacher Preparation: The Role of Learning Communities	Nipyrakis <i>et al.</i> (2024)	Komunitas belajar (learning community) berkontribusi positif terhadap perancangan eksperimen sains berbasis teknologi digital oleh calon guru SD, meningkatkan kolaborasi, ide, dan kualitas materi.	Kerangka komunitas belajar kolaboratif yang memfasilitasi diskusi, refleksi, dan negosiasi dalam pengembangan materi ajar sains berbasis teknologi digital.	Menekankan pentingnya lingkungan belajar kolaboratif untuk membangun kompetensi pedagogis dan kemampuan adopsi inovasi digital pada calon guru, melalui diskusi dialogis dan refleksi berkelanjutan.
21	Theory and Practice of	Zhang &	VR/AR efektif meningkatkan	Integrasi VR/AR dalam	Menyempurnakan

	VR/AR in K-12 Science Education — A Systematic Review	Wang (2021)	motivasi dan pemahaman pengetahuan dasar serta inquiry-based learning, namun belum optimal mengembangkan berpikir kritis tingkat tinggi karena keterbatasan dana, teknologi, dan kerangka teori.	pembelajaran sains K-12 dengan pendekatan inquiry-based learning dan eksplorasi perangkat yang lebih terjangkau dan portable.	pemanfaatan VR/AR melalui penekanan pada integrasi konten mendalam, keterampilan berpikir tingkat tinggi, perangkat terjangkau, dan kerangka teori yang konsisten serta studi campuran yang melibatkan guru dan siswa.
22	Research on the Application of Virtual Reality Technology in Primary School Science Class	He & Zhao (2021)	VR di kelas sains SD meningkatkan pemahaman dan minat siswa melalui pengalaman imersif dan visualisasi 3D, sekaligus membuka peluang pemerataan akses pendidikan.	Software VR/AR untuk eksplorasi model 3D sistem tubuh, kehidupan, dan alam semesta; pembelajaran imersif untuk meningkatkan fokus dan partisipasi.	Menunjukkan perbaikan pemahaman konsep abstrak, minat, personalisasi, dan efisiensi sumber daya pendidikan, serta mendorong pengembangan kurikulum modern yang adaptif dan mendukung pembelajaran jarak jauh.
23	Problem Based Technology and Science Development to Improve Science Learning Outcomes in Elementary Schools	Triyanti <i>et al.</i> , (2021)	Bahan ajar berbasis Problem Based Learning (PBL) dan media teknologi meningkatkan hasil belajar, keaktifan, berpikir kritis, kreativitas, dan performa akademik siswa kelas IV SD.	Bahan ajar PBL interaktif yang memanfaatkan media teknologi untuk pemecahan masalah nyata di kelas sains SD.	Menyempurnakan kualitas materi, media pembelajaran interaktif, dan aspek psikologis siswa (minat, kemandirian), didukung validasi ahli dan uji coba, sehingga meningkatkan ranah afektif, kognitif, dan psikomotor secara menyeluruh.
24	Educational Uses of Augmented Reality (AR): Experiences in Educational Science	Cabero-Almenara <i>et al.</i> (2019)	Catatan belajar yang diperkaya AR meningkatkan motivasi dan berdampak positif pada kinerja akademik; pembelajaran menjadi lebih menarik, interaktif, dan mudah diakses.	Aplikasi AR pada catatan dan bahan ajar yang diakses melalui perangkat mobile untuk visualisasi konsep secara interaktif.	Menyempurnakan motivasi belajar, pemahaman materi, dan kualitas pengalaman belajar melalui integrasi AR dalam bahan ajar sehari-hari, serta memperkuat argumentasi bahwa AR mendukung pembelajaran yang lebih imersif.
25	“Doing Science” in Elementary School: Using Digital Technology to Foster the Development of Elementary Students’ Understandings of Scientific Inquiry	Schellinger <i>et al.</i> (2017)	Teknologi digital Habitat Tracker meningkatkan kemampuan siswa SD dalam mengembangkan pertanyaan dan menganalisis data, tetapi pemahaman tentang prediksi, hipotesis, dan desain eksperimen masih terbatas.	Habitat Tracker sebagai platform digital untuk mengumpulkan dan menganalisis data dalam kegiatan lapangan dan kelas.	Menunjukkan kebutuhan pendekatan lebih seimbang untuk mengembangkan pemahaman inkuiri ilmiah secara menyeluruh, mengaitkan pengalaman lapangan dan teknologi dengan praktik ilmiah formal.
26	The Integration of Technology-Based Learning in Early Science Learning: An Investigative Approach	Ghazali <i>et al.</i> (2024)	Integrasi teknologi dalam pembelajaran sains di TK meningkatkan pemahaman dan minat anak terhadap konsep ilmiah, serta membantu pengembangan berpikir kritis bila didukung strategi pengajaran yang tepat.	Perangkat keras dan perangkat lunak interaktif untuk aktivitas sains yang relevan dengan dunia anak, dalam skema blended learning.	Menyempurnakan keterlibatan dan kemampuan berpikir kritis anak, menekankan pentingnya pelatihan pendidik dan desain aktivitas aktif yang memadukan metode tradisional dan modern.
27	Technology Education in Primary Schools Addressing Teachers’ Perceptions, Perceived Barriers, and Needs	Pappa <i>et al.</i> (2024)	Guru SD menilai teknologi penting, tetapi menghadapi hambatan seperti kurang pelatihan, keterbatasan sumber daya, dan rendahnya kepercayaan diri. Dukungan sekolah dan pelatihan profesional sangat dibutuhkan.	Pemanfaatan berbagai perangkat keras dan perangkat lunak, alat peraga elektronik, platform digital interaktif, dan kegiatan STEM untuk pembelajaran teknologi.	Mengidentifikasi kebutuhan peningkatan pengetahuan konten dan kepercayaan diri guru, pengembangan program pengembangan profesional yang relevan, serta kebutuhan kurikulum dan standar yang lebih jelas agar integrasi teknologi optimal.
28	Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif IPA SD Terintegrasi Pendidikan Karakter	Mawan Akhir Riwanto & Nuning Budiarti (2021)	Media interaktif IPA SD yang dikembangkan dinyatakan sangat layak dan efektif (skor validasi 83–85%; uji coba siswa/guru 84–87%),	Multimedia interaktif berbasis animasi bergerak dan teknologi komputer (Adobe Flash) untuk pembelajaran	Menyempurnakan kualitas visual, integrasi nilai peduli lingkungan, dan kemudahan penggunaan media interaktif sehingga pembelajaran IPA

Peduli Lingkungan	mendukung pembelajaran IPA sekaligus menanamkan karakter peduli lingkungan.	mandiri.	menjadi menyenangkan, dan berbasis karakter.	lebih bermakna,
-------------------	---	----------	--	-----------------

Berdasarkan kajian literatur dari artikel artikel ilmiah dan penelitian terkini diatas, implementasi inovasi teknologi dalam pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) di sekolah dasar menunjukkan sejumlah temuan penting yang memberikan implikasi signifikan bagi praktik pendidikan. Temuan-temuan utama tersebut meliputi aspek motivasi, pemahaman konsep, pengembangan keterampilan berpikir, interaktivitas pembelajaran, peran guru dan infrastruktur, tantangan implementasi, serta efektivitas dalam hasil belajar, beberapa temuan utama terkait inovasi teknologi dalam pembelajaran IPA di sekolah dasar adalah sebagai berikut:

1. Peningkatan Motivasi dan Keterlibatan Siswa: Penggunaan teknologi digital seperti AR, VR, aplikasi pembelajaran interaktif, dan e-learning secara konsisten meningkatkan motivasi, perhatian, dan keterlibatan siswa dalam proses belajar.
2. Peningkatan Pemahaman Konsep: Teknologi visualisasi seperti AR dan VR membantu menyederhanakan konsep abstrak dan kompleks, meningkatkan pemahaman dan penyerapan materi pelajaran IPA secara lebih efektif.
3. Pengembangan Keterampilan Berpikir Tingkat Tinggi: Penggunaan media digital dan simulasi virtual mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis, analitis, dan kreatif siswa, termasuk kemampuan HOTS (*Higher Order Thinking Skills*).
4. Inovasi Pembelajaran yang Interaktif dan Kontekstual: Teknologi memungkinkan penciptaan pengalaman belajar yang lebih menarik dan relevan dengan kehidupan nyata, seperti simulasi dan visualisasi objek virtual yang meningkatkan pengalaman belajar mandiri maupun kolaboratif.
5. Peran Guru dan Infrastruktur sebagai Faktor Penting: Keberhasilan implementasi teknologi sangat bergantung pada kesiapan guru, pelatihan berkelanjutan, serta pemenuhan infrastruktur yang memadai, termasuk akses internet dan perangkat yang sesuai.
6. Keterbatasan dan Tantangan: Literatur juga menunjukkan adanya keterbatasan, seperti kekurangan studi di mata pelajaran tertentu, isu etika, keterlibatan siswa (khususnya gender dan disabilitas), serta kebutuhan kolaborasi internasional untuk pengembangan yang lebih inklusif dan komprehensif.
7. Efektivitas dalam Meningkatkan Hasil Belajar: Secara umum, integrasi teknologi digital dapat meningkatkan hasil belajar siswa dalam memahami konsep IPA, serta meningkatkan kepercayaan diri guru dalam merancang pembelajaran yang inovatif.

Penelitian ini menitikberatkan pada pengembangan dan penerapan inovasi teknologi digital dalam pembelajaran IPA di sekolah dasar. Fokus utamanya adalah bagaimana teknologi seperti AR, VR, media interaktif, platform daring, dan media digital lainnya dapat meningkatkan motivasi, pemahaman konsep, keterlibatan siswa, serta kemampuan berpikir kritis dan analitis siswa dalam proses belajar IPA.

Selain itu, penelitian ini juga menyoroti pentingnya kesiapan guru, pelatihan berkelanjutan, infrastruktur yang memadai, dan integrasi pedagogis yang kontekstual agar teknologi dapat dimanfaatkan secara efektif dan inklusif. Dengan kata lain, penekanan utama adalah pada bagaimana inovasi teknologi dapat mendukung terciptanya proses belajar mengajar yang lebih menarik, interaktif, dan bermakna dalam rangka meningkatkan hasil belajar dan kompetensi siswa di era digital.

Secara keseluruhan, penelitian ini menitikberatkan pada aspek inovasi dan pemanfaatan teknologi digital sebagai alat strategis untuk meningkatkan efektivitas dan kualitas pembelajaran

IPA di sekolah dasar, dengan fokus pada aspek pedagogis, infrastruktur pendukung, dan keberlanjutan penggunaan teknologi tersebut dalam konteks pendidikan nasional maupun global.

KESIMPULAN

Inovasi teknologi dalam pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) di Sekolah Dasar pada era digital abad ke-21 menawarkan berbagai potensi positif yang signifikan. Teknologi memungkinkan penyajian materi secara interaktif dan visual, yang dapat membantu siswa memahami konsep-konsep abstrak dalam IPA dengan lebih mudah. Selain itu, penggunaan media digital, seperti simulasi, video, dan aplikasi edukatif, terbukti mampu meningkatkan motivasi, keterlibatan aktif, serta minat belajar siswa terhadap sains. Lebih jauh, pemanfaatan teknologi juga mendorong pengembangan keterampilan berpikir kritis, pemecahan masalah, serta literasi sains yang menjadi bagian penting dalam pembelajaran abad ke-21.

Namun, keberhasilan penerapan teknologi tidak semata-mata bergantung pada ketersediaan perangkat digital. Efektivitasnya sangat dipengaruhi oleh desain instruksional yang sesuai dengan karakteristik peserta didik, kesiapan dan kompetensi guru dalam mengintegrasikan teknologi, kondisi infrastruktur sekolah, serta dukungan kebijakan dari pemerintah atau lembaga terkait. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan yang menyinergikan tiga aspek utama: teknologi, pedagogi, dan konteks lokal. Pendekatan ini akan memastikan bahwa inovasi teknologi tidak hanya menjadi tren sesaat, melainkan benar-benar memberikan dampak positif dan berkelanjutan terhadap kualitas pembelajaran IPA di tingkat Sekolah Dasar.

DAFTAR REFERENSI

- Abdan, M. Z., Utamajaya, J. N., & Hadisaputro, E. L. (2025). *Systematic Literature Review: The Effectiveness of Technology In Education*. 26(1), 269. <https://doi.org/10.51967/tanesa.v24i2>
- Abda'u Ansya, Y., Salsabilla, T., William, J., Pasar, I., Baru, K., Percut, K., Tuan, S., Serdang, D., & Utara, S. (2025). *Pembelajaran IPA berbasis Teknologi Informasi dan Komunikasi*. 5.
- Akmal, A. U., & Festiyed. (2023). Development of Contextual Teaching and Learning-Based Test Instruments to Improve 21st Century Skills in Students. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(7), 5097–5102. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i7.4191>
- Azzahra, F., & Ayu Kristiana Dewi, N. (2024). Analysis of the Effectiveness of Using Augmented Reality (AR) on Science Learning in Elementary Schools: A Systematic Literature Review. *Journal of Psychology and Instruction*, 8(3), 141–149. <https://doi.org/10.23887/jpai.v8i3.79804>
- Boateng, S. L., Penu, O. K. A., Boateng, R., Budu, J., Marfo, J. S., & Asamoah, P. (2024). Educational technologies and elementary level education – A bibliometric review of scopus indexed journal articles. In *Heliyon* (Vol. 10, Issue 7). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28101>
- Cabero-Almenara, J., Barroso-Osuna, J., Llorente-Cejudo, C., & Martínez, M. del M. F. (2019). Educational uses of augmented reality (AR): Experiences in educational science. *Sustainability (Switzerland)*, 11(18). <https://doi.org/10.3390/su11184990>
- Faidah, D. I., Suryanti, S., & Istiq'faroh, N. (2025). Systematic Literature Review: E-Module in Digitization of Learning in Elementary Schools. *Journal of Innovation and Research in Primary Education*, 4(3), 825–834. <https://doi.org/10.56916/jirpe.v4i3.1448>
- Faria, A., & Miranda, G. L. (2024). Augmented Reality in Natural Sciences and Biology Teaching: Systematic Literature Review and Meta-Analysis. In *Emerging Science Journal* (Vol. 8,

- Issue 4, pp. 1666–1685). Ital Publication. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2024-08-04-025>
- Ghani Fauzan Fasna, Dzikri Rahmat Romadhon, & Ai Nurlaela. (2024). Peran Penting Teknologi dalam Pendidikan Sains: Pengembangan dan Validasi Media Pembelajaran Berbasis Android dengan App Inventor untuk Pemahaman Materi Gelombang Cahaya. *JURNAL PENDIDIKAN MIPA*, 14(1), 57–66. <https://doi.org/10.37630/jpm.v14i1.1485>
- Ghazali, A., Ashari, Z. M., Hardman, J., Schumacher, K., Kamaruddin, F. A., & Ali, S. (2024). The Integration of Technology-Based Learning in Early Science Learning: An Investigative Approach. *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, 13(3). <https://doi.org/10.6007/ijarped/v13-i3/22679>
- He, Y., & Zhao, J. (2021). Research on the Application of Virtual Reality Technology in Primary School Science Class. *Advances in Educational Technology and Psychology*, 5(1). <https://doi.org/10.23977/aetp.2021.51016>
- Kadek Sintya Purnama Sari, N., Mada, F., Wayan Ekayanti, N., Komang Dina Suciari, N., Ayu Sri Ratnani, D., Dwi Handayani, N., & Mahasaraswati Denpasar, U. (2024). PROFIL PENGGUNAAN ICT SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN IPA DI SEKOLAH: SEBUAH LITERATURE REVIEW. *Jurnal Santiaji Pendidikan (JSP)*, 14(1).
- Kajian, J., Ipa, P., Hoerunnisa, M., & Fauziah, S. R. (n.d.). Pemanfaatan Teknologi dalam Pembelajaran IPA Sebagai Upaya Peningkatan Hasil Belajar. *Jurnal Kajian Pendidikan IPA*, 3(2), 272.
- Lara-Alvarez, C. A., Parra-González, E. F., Ortiz-Esparza, M. A., & Cardona-Reyes, H. (2023). Effectiveness of virtual reality in elementary school: A meta-analysis of controlled studies. In *Contemporary Educational Technology* (Vol. 15, Issue 4). Bastas. <https://doi.org/10.30935/cedtech/13569>
- Magpusao, J. R. (2024). Gamification and game-based learning in primary education: A bibliometric analysis. *Computers and Children*, 3(1), em005. <https://doi.org/10.29333/cac/14182>
- Maharani, A., Yanti, Y., Shabira, Q., Intan, R., Kunci, K., Dasar, S., & Bibliometrik, T. (2025). Analisis Literatur Blended learning di Era Abad ke-21 pada sekolah dasar: Tinjauan Bibliometrik Blended Learning Literature Analysis in the 21 st Century Era at Elementary Schools: A Bibliometric Review. <https://doi.org/10.61227>
- Mawan Akhir Riwanto, & Nuning Budiarti, W. (2021). Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif IPA SD Terintegrasi Pendidikan Karakter Peduli Lingkungan. *JURNAL PENDIDIKAN DASAR NUSANTARA*, 6(2), 71–82. <https://doi.org/10.29407/jpdn.v6i2.14974>
- Nipyrakis, A., Stavrou, D., & Avraamidou, L. (2024). Designing technology-enhanced science experiments in elementary teacher preparation: the role of learning communities. *Research in Science and Technological Education*, 42(4), 889–911. <https://doi.org/10.1080/02635143.2023.2202386>
- Pappa, C. I., Georgiou, D., & Pittich, D. (2024). Technology education in primary schools: addressing teachers' perceptions, perceived barriers, and needs. *International Journal of Technology and Design Education*, 34(2), 485–503. <https://doi.org/10.1007/s10798-023-09828-8>
- Peikos, G., & Sofianidis, A. (2024). What Is the Future of Augmented Reality in Science Teaching and Learning? An Exploratory Study on Primary and Pre-School Teacher Students' Views. *Education Sciences*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/educsci14050480>
- Rahmiati, D., Hartono, Rokhman, F., & Wagiran. (2024). Penggunaan Virtual Reality (VR)

- sebagai Media Pembelajaran pada Mata Pelajaran IPAS di Sekolah Dasar. *Didaktik: Jurnal Ilmiah PGSD FKIP Universitas Mandiri*, 10(4), 332–343.
- Sariwedani, N. M. G., Werang, B. R., & Sudarma, I. K. (2025). Contextual-Based Interactive Learning Video Media to Improve Science Learning Outcomes of Grade VI Elementary School Students. *MIMBAR PGSD Undiksha*, 13(2), 218–228. <https://doi.org/10.23887/jjpgsd.v13i2.93717>
- Sayadi, D., & Pangandaman, H. (2025). Technology-Enhanced Science Teaching for 21st-Century Learning: A Systematic Review of Evidence-Based Strategies and Their Alignment with SDG 4. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 14(3). <https://doi.org/10.15294/jpii.v14i3.29379>
- Schellinger, J., Mendenhall, A., Alemanne, N. D., Southerland, S. A., Sampson, V., Douglas, I., Kazmer, M. M., & Marty, P. F. (2017). “Doing science” in elementary school: Using digital technology to foster the development of elementary students’ understandings of scientific inquiry. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(8), 4635–4649. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00955a>
- Siti Fatimah, Sigit Prasetyo, & Erni Munastiwi. (2024). INOVASI DALAM PENGAJARAN IPA DI SEKOLAH DASAR MELALUI PENGGUNAAN TEKNOLOGI DIGITAL. *MUBTADI: Jurnal Pendidikan Ibtidaiyah*, 6(1), 15–27. <https://doi.org/10.19105/mubtadi.v6i1.14271>
- Surya, Y. F., & Pebriana, P. H. (2025). Transformasi Pembelajaran IPA di SD: Pemanfaatan Alat Peraga dan Teknologi Digital untuk Meningkatkan Pemahaman Siswa. *JAHE: Journal of Human and Education*, 5(3), 17–23.
- Triyanti, T., Murtono, M., & Utaminingsih, S. (2021). Problem Based Technology and Science Development to Improve Science Learning Outcomes in Elementary Schools. *ANP Journal of Social Sciences and Humanities*, 2(2), 151–156. <https://doi.org/10.53797/anp.jssh.v2i2.21.2021>
- Tsaqofah, D., Arifin, B., & Mu’id, A. (n.d.). *Pengembangan Kurikulum Berbasis Keterampilan dalam Menghadapi Tuntutan Kompetensi Abad 21*. <https://jurnalpasca.uqgresik.ac.id/index.php/pendidikan|118>
- Zhang, W., & Wang, Z. (2021). Theory and practice of vr/ar in k-12 science education—a systematic review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 22). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su132212646>
- Zufahmi, Z., Rohman, F., & Sari, M. S. (2025). Augmented reality in science learning: A systematic literature review. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 11(1), 274–291. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v11i1.38570>