

**Potensi dan Tantangan Guru Sekolah Dasar dalam Pembelajaran
 Ilmu Pengetahuan Alam di Era Revolusi Industri 4.0: Tinjauan
 Literatur**

Alaniyah Syafaren

Institut Keislaman Tuah Negeri

Jl. Lintas Timur Riau-Jambi, Desa Dusun Tua, Kecamatan Pangkalan Lesung,
 Pelalawan, Riau.

alaniyahsyafaren@gmail.com

Na'imah

Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga

Jl. Marsekal Adisucipto, Demangan, Maguwoharjo, Kec. Depok, Kabupaten
 Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

naimah@uin-suka.ac.id

Shaleh

Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga

Jl. Marsekal Adisucipto, Demangan, Maguwoharjo, Kec. Depok, Kabupaten
 Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

shaleh@uin-suka.ac.id

Sigit Prasetyo

Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga

Jl. Marsekal Adisucipto, Demangan, Maguwoharjo, Kec. Depok, Kabupaten
 Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

sigitprasetyo@uin-suka.ac.id

Received : 04/12/2025

Accepted : 16/12/2025

Revised : 15/12/2025

Publication : 17/12/2025

*Corresponding Author

Abstrak

Revolusi Industri 4.0 membawa perubahan signifikan dalam dunia pendidikan, khususnya pada peran dan kompetensi guru sekolah dasar. Guru sekolah dasar dituntut untuk melakukan inovasi pembelajaran menggunakan teknologi sehingga terdapat potensi sekaligus tantangan dalam menjalankan tugasnya. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi potensi dan tantangan guru Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) Sekolah Dasar dalam mengintegrasikan teknologi pembelajaran di era Revolusi Industri 4.0. Penelitian menggunakan metode *Systematic Literature Review* dengan pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* terhadap artikel nasional dan internasional yang dipublikasikan pada periode 2020–2025 dan dianalisis secara tematik. Hasil kajian menunjukkan bahwa potensi utama pemanfaatan teknologi digital dalam pembelajaran IPA meliputi penguatan kolaborasi profesional berbasis *platform* daring, pembelajaran berbasis proyek dan data, serta integrasi pedagogi *science, technology, enggineering, arts and mathematic* dan *computational thinking*. Namun, guru masih menghadapi tantangan berupa kesenjangan kompetensi digital dan pedagogis, keterbatasan infrastruktur teknologi, tingginya beban kerja, minimnya pelatihan berkelanjutan, serta kurikulum dan kebijakan yang belum sepenuhnya mendukung integrasi teknologi. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran IPA memerlukan dukungan sistemik melalui penguatan infrastruktur, pengembangan profesional guru berkelanjutan, dan kebijakan kurikulum yang selaras.

Kata Kunci: potensi, tantangan, guru sekolah dasar, revolusi industri 4.0., pembelajaran inovatif

A. Pendahuluan

Revolusi Industri 4.0 ditandai dengan konvergensi teknologi digital seperti kecerdasan buatan, *internet of things*, *big data*, *augmented/virtual reality* yang mengubah secara cepat cara kerja diberbagai sektor termasuk pendidikan. Pada konteks pendidikan, konsep *Education 4.0* menuntut perubahan paradigma pengajaran dari transfer pengetahuan tradisional ke pembelajaran yang berpusat pada kompetensi abad ke-21 yang meliputi literasi digital, pemecahan masalah kompleks, kolaborasi, dan kemampuan belajar sepanjang hayat (Kumar, 2025). Transformasi ini memberi peluang besar bagi pengembangan praktik pengajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) seperti penggunaan laboratorium virtual, simulasi, dan pembelajaran berbasis data, namun sekaligus menimbulkan tantangan serius bagi guru terkait kompetensi digital, akses sarana, dan kesiapan pedagogis (Amna Emda et al., 2025).

Pemanfaatan teknologi digital guru IPA di Sekolah Dasar harus diperhatikan secara maksimal, bahkan perlu ada inovasi-inovasi seiring dengan perkembangan ilmu dan teknologi yang berkembang pesat. Perkembangan teknologi digital di era Revolusi Industri 4.0 telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk bidang pendidikan. Transformasi digital mendorong dunia pendidikan untuk beradaptasi melalui pemanfaatan berbagai perangkat dan media berbasis teknologi informasi. Pada konteks pembelajaran sekolah dasar, penggunaan teknologi digital menjadi salah satu strategi penting untuk meningkatkan efektivitas, kreativitas, serta interaktivitas proses belajar mengajar. Hal ini sejalan dengan tuntutan Kurikulum Merdeka Belajar yang menekankan kemandirian dan kebermaknaan belajar peserta didik (Kemendikbudristek, 2022). Pada konteks pembelajaran IPA Sekolah Dasar pemanfaatan media dan alat digital seperti video pembelajaran, simulasi interaktif, aplikasi berbasis kuis, *augmented reality* berpotensi membuat konsep-konsep abstrak menjadi lebih konkret, meningkatkan keterlibatan siswa, serta mendukung pendekatan pembelajaran yang bersifat eksploratif dan investigatif (Nengsih & Haryanti, 2024).

Guru IPA di Sekolah Dasar adalah aktor kunci dalam menyiapkan generasi yang siap menghadapi tuntutan *Science, Technology, Enggineering, Arts and Mathematic* (STEAM) dan literasi sains di era digital. Namun studi empiris menunjukkan adanya kesenjangan yaitu tingkat literasi digital guru yang beragam, adopsi teknologi yang terkendala oleh keterbatasan pelatihan, infrastruktur, dan dukungan manajerial serta kebutuhan akan pengembangan pedagogi yang memadukan teknologi dengan metode inkuiri/laman praktik sains masih tinggi. Kesenjangan ini berimplikasi pada kualitas pembelajaran IPA dan kesetaraan akses pendidikan bermutu (Handayani et al., 2023; Luthfi et al., 2023). Oleh karena itu, kajian sistematis yang mensintesis bukti-bukti tentang potensi dan tantangan bagi guru IPA menjadi penting untuk merancang kurikulum, kebijakan pelatihan, dan investasi infrastruktur yang tepat sasaran (Nur Ekizce et al., 2022).

Literatur mencatat sejumlah peluang implementatif utama, yaitu: (1) teknologi digital memungkinkan pengayaan praktik sains melalui simulasi dan laboratorium virtual yang memperluas akses terhadap aktivitas eksperimen; (2) platform pembelajaran daring dan sumber terbuka menyediakan materi serta komunitas profesional untuk pengembangan konten IPA; (3) pemanfaatan data dan alat analitik membuka ruang bagi pembelajaran berbasis proyek yang lebih autentik dan terukur; serta (4) integrasi pedagogi berbasis inkuiri dan STEAM berkontribusi terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah siswa, apabila didukung oleh kompetensi guru yang memadai (Jawah et al., 2022). Analisis literatur periode 2020–2025 menunjukkan adanya tren peningkatan adopsi inovasi pembelajaran tersebut, terutama pada konteks institusi yang memperoleh dukungan pelatihan dan infrastruktur yang memadai.

Meskipun terdapat peluang pengembangan yang signifikan, literatur juga mengidentifikasi sejumlah hambatan yang relatif konsisten, antara lain rendahnya literasi digital dan kompetensi pedagogis guru terhadap teknologi Revolusi Industri 4.0, kesenjangan akses infrastruktur antarwilayah dan sekolah (Fatimah et al., 2024; Mustafa et al., 2024), tingginya beban kerja guru serta keterbatasan waktu dan dukungan untuk pengembangan profesional berkelanjutan (Revina et al., 2023), resistensi terhadap perubahan praktik pembelajaran, serta belum optimalnya penyesuaian kurikulum dan sistem asesmen dengan kompetensi abad ke-21. Temuan dari berbagai kajian dan studi lapangan di Indonesia maupun negara lain menegaskan bahwa tanpa kebijakan yang terintegrasi – meliputi pelatihan berkelanjutan, insentif, dan dukungan manajerial menjadikan implementasi teknologi dalam pembelajaran IPA cenderung berjalan terbatas (Puang Intan Maylani Akbar, 2025).

Meskipun banyak studi kasus dan penelitian empiris, tinjauan sistematis yang memfokuskan secara khusus pada guru IPA Sekolah Dasar dengan rentang waktu 2020–2025 yang merupakan periode kritis karena percepatan adopsi teknologi selama dan pasca-pandemi masih kurang. Penelitian ini bertujuan mengisi kesenjangan tersebut dengan (1) mensintesis bukti tentang jenis potensi dan tantangan yang paling sering dilaporkan; (2) mengidentifikasi faktor konteks yang memoderasi adopsi; dan (3) menawarkan rekomendasi kebijakan dan prioritas penelitian untuk pengembangan kapasitas guru IPA di era Revolusi Industri 4.0. Hasilnya diharapkan memberi dasar empiris bagi pembuat kebijakan, pengembangan kurikulum, dan lembaga pelatihan guru.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan desain *Systematic Literature Review* (SLR) yang mengacu pada pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai potensi dan tantangan yang dihadapi guru IPA di Era Revolusi Industri 4.0. Penelusuran literatur dilakukan pada beberapa basis data bereputasi, yaitu Scopus, ScienceDirect serta Google Scholar sebagai sumber tambahan untuk *grey literature*. Kata kunci disusun dengan *operator Boolean*, meliputi kombinasi seperti “*science teacher*”, “*science education teacher*”, “*Industrial Revolution 4.0*”, “*Education 4.0*”, “*digital literacy*”, “*technology integration*”, “*challenges*”, “*Elementary School Science Learning*” dan “*potentials*”. Pencarian dibatasi pada artikel jurnal *peer-reviewed* yang dipublikasikan dalam rentang tahun 2020–2025, menggunakan bahasa Inggris atau Indonesia, dan secara langsung membahas aspek potensi, tantangan, atau kesiapan guru IPA dalam memanfaatkan teknologi pendidikan di era 4.0.

Seleksi artikel dilakukan melalui empat tahap sesuai model PRISMA, yaitu *identification, screening, eligibility, dan inclusion*. Pada tahap *identification*, seluruh

artikel yang diperoleh dari database dikumpulkan dan duplikasi dihapus. Tahap *screening* dilakukan untuk meninjau judul dan abstrak untuk memastikan relevansi dengan topik. Artikel yang lolos kemudian dinilai pada tahap *eligibility* dengan membaca *full-text* untuk memastikan kesesuaian dengan kriteria pembelajaran IPA SD, yaitu fokus pada guru IPA atau pendidikan sains, membahas potensi dan tantangan terkait Revolusi Industri 4.0, serta disusun dalam bentuk artikel ilmiah yang telah ditelaah. Artikel dikeluarkan jika tidak memenuhi kriteria tersebut, tidak tersedia dalam bentuk teks penuh, atau tidak relevan secara substansi. Artikel yang memenuhi semua persyaratan kemudian dimasukkan ke tahap *inclusion* untuk dianalisis lebih lanjut.

Data dari artikel terpilih diekstraksi secara sistematis dengan mencatat informasi utama, seperti penulis, tahun publikasi, tujuan penelitian, konteks wilayah, metodologi, temuan mengenai potensi dan tantangan guru, serta rekomendasi penelitian. Selanjutnya dilakukan analisis tematik (*thematic synthesis*) untuk mengidentifikasi pola dan kategori utama dalam literatur. Tema-tema yang muncul, seperti literasi digital guru, integrasi teknologi dalam pembelajaran IPA, dukungan institusional, kesiapan infrastruktur, model pedagogi 4.0, dan dinamika pengembangan profesional, disintesis menjadi narasi terpadu. Dengan metode ini, hasil SLR diharapkan memberikan gambaran menyeluruh terkait potensi serta tantangan guru IPA dalam menjawab tuntutan Revolusi Industri 4.0.

Data dianalisis menggunakan analisis tematik, dengan langkah-langkah yaitu reduksi data (menyeleksi hasil penelitian yang relevan), klasifikasi tema (mengelompokkan temuan ke dalam dua kategori besar yaitu potensi guru IPA SD dan tantangan yang dihadapi), interpretasi dan sintesis (menghubungkan hasil temuan dengan teori Revolusi Industri 4.0), penyimpulan (menarik kesimpulan mengenai arah dan implikasi potensi dan tantangan guru IPA di masa depan). Validitas dan reliabilitas data dilakukan triangulasi sumber dengan membandingkan temuan antar-jurnal. Hasil akhir penelitian ini berupa peta konseptual mengenai: Potensi IPA SD di era Revolusi 4.0, tantangan implementasi yang dihadapi guru IPA SD serta rekomendasi pengembangan kompetensi digital guru untuk mendukung transformasi pendidikan sains berbasis teknologi.

C. Hasil dan Diskusi

1. Hasil

Berdasarkan penelusuran artikel ilmiah nasional dan internasional yang dipublikasikan pada rentang tahun 2020–2025, hasil SLR menunjukkan bahwa Era Revolusi Industri 4.0 membuka peluang signifikan bagi pengembangan pembelajaran IPA, khususnya melalui pemanfaatan teknologi digital. Berbagai studi melaporkan penggunaan teknologi imersif seperti *Virtual Reality* (VR) dan *Mixed Reality* (MR), laboratorium virtual,

analitik pembelajaran, serta personalisasi pembelajaran berbasis data yang berpotensi meningkatkan keterlibatan siswa dan kualitas pengalaman belajar sains. Namun demikian, mayoritas artikel juga mengidentifikasi berbagai tantangan serius yang dihadapi guru IPA, terutama pada aspek kompetensi digital pedagogis, infrastruktur, pelatihan profesional, serta dukungan kurikulum dan kebijakan. Berikut uraian lengkap mengenai potensi dan tantangan guru IPA SD dalam Era Revolusi Industri 4.0.

a. Potensi Guru IPA SD dalam Era Revolusi Industri 4.0

Era Revolusi Industri 4.0 ditandai dengan integrasi teknologi digital, *internet of things* (IoT), kecerdasan buatan (AI), *big data*, dan otomatisasi ke dalam aktivitas manusia, termasuk dunia pendidikan. Pada konteks ini, guru IPA memiliki berbagai potensi strategis untuk memperkuat kompetensi sains abad ke-21, literasi digital, dan keterampilan berpikir tingkat tinggi siswa. Bersumber dari literatur yang ditelaah, maka ditemukanlah potensi guru IPA di Era Revolusi Industri 4.0, diantaranya:

1) Pemanfaatan Teknologi Digital dalam Pembelajaran Sains.

Studi tahun 2020–2025 menunjukkan peningkatan signifikan terhadap penggunaan simulasi PhET yaitu media pembelajaran interaktif berbasis komputer untuk memahami berbagai konsep IPA secara virtual, laboratorium virtual, AR, video eksperimen, dan perangkat IoT sederhana untuk pengukuran data-data IPA. Potensi utama yang teridentifikasi yaitu memperkuat pemahaman konsep abstrak IPA, memungkinkan eksperimen berisiko tinggi dan mahal dilakukan secara aman serta memberikan pengalaman inkuiiri meskipun tanpa laboratorium fisik. Tinjauan literatur mencatat bahwa laboratorium virtual telah menjadi bagian signifikan, fleksibel dan inovatif dalam pembelajaran IPA dalam dua dekade terakhir (Bala & Gupta, 2024; Pane et al., 2024). Pada kegiatan eksperimen digital didapatkan hasil yaitu mampu meningkatkan literasi ilmiah siswa seperti kemampuan dalam memahami konsep, metode ilmiah, dan proses sains terutama di sekolah yang tidak memiliki fasilitas laboratorium fisik memadai. Selain itu kombinasi antara laboratorium virtual dan metode demonstrasi dalam penelitian kuasi-eksperimental menunjukkan bahwa kombinasi tersebut lebih efektif dalam meningkatkan kemampuan literasi sains siswa dibandingkan menggunakan salah satu saja (Lestari et al., 2023; Meronda et al., 2025).

2) Kolaborasi Profesional Guru Berbasis Platform Daring

Temuan SLR menunjukkan bahwa pemanfaatan platform daring seperti *Learning Management System* (LMS), Google Classroom, dan Massive Open Online Course (MOOC) internasional berkontribusi

pada peningkatan kolaborasi profesional guru IPA SD. Platform ini mendukung pertukaran praktik baik, refleksi kolaboratif, *peer review*, serta pengembangan konten pembelajaran digital. Studi-studi yang ditelaah melaporkan adanya peningkatan kompetensi pedagogis dan kualitas praktik pembelajaran ketika guru terlibat dalam komunitas profesional daring dengan desain instruksional yang baik (Segev et al., 2025; Stavermann, 2025).

3) Penguatan Pembelajaran Berbasis Proyek dan Data (*Data-Driven Science Learning*).

Studi terkini menunjukkan bahwa kombinasi pendekatan proyek dan data seperti analisis hasil observasi, eksperimen dengan pencatatan data, refleksi berdasarkan data sangat menjanjikan untuk membangun literasi ilmiah, keterampilan berpikir kritis, dan kemampuan aplikatif siswa dalam menjawab kebutuhan pendidikan sains abad 21. Selain itu siswa yang terlibat dalam proyek nyata misalnya eksperimen, penyelidikan fenomena, desain solusi dapat membuat pembelajaran lebih relevan dan bermakna sehingga meningkatkan motivasi siswa dan keterlibatan aktif (Kurt & Akoglu, 2023; Rehman et al., 2024).

4) Penguatan *Pedagogi STEAM* dan *Computational Thinking*

Literatur rentang waktu 2020–2025 menunjukkan integrasi STEAM menjadi lebih luas karena dukungan perangkat digital. Guru menjalankan kegiatan seperti coding untuk simulasi gerak berbagai materi IPA dan proyek robotika sederhana dalam pembelajaran IPA. Potensi utama adalah peningkatan kreativitas dan pemecahan masalah ilmiah. Beberapa tinjauan sistematis dan studi empiris menunjukkan bahwa unit STEAM (khususnya yang menggunakan pendekatan *project-based* dan *maker*) dapat meningkatkan kreativitas, kolaborasi, dan keterampilan komunikasi siswa, serta memberi konteks otentik untuk konsep IPA. Selain itu aktivitas STEAM dengan memasukkan unsur komputasional seperti coding dan analisis menjadikan siswa memperoleh pengalaman yang lebih holistik yang memadukan proses ilmiah dan *computational thinking* (Calheiro & Greca, 2025; Deák & Kumar, 2024).

b. Tantangan Guru IPA di Era Revolusi Industri 4.0

Era Revolusi Industri 4.0 ditandai oleh integrasi teknologi seperti IoT, AI, *big data*, *virtual laboratory*, AR, dan pembelajaran berbasis digital. Transformasi ini menghadirkan peluang besar bagi pendidikan, namun juga

menimbulkan berbagai tantangan bagi guru IPA. Tantangan tersebut terjadi baik dari aspek kompetensi, infrastruktur maupun kurikulum dan kebijakan. Bersumber dari literatur yang ditemukan tantangan-tantangan tersebut dapat dirumuskan dalam aspek utama, diantaranya sebagai berikut.

1) Kesenjangan kompetensi digital dan pedagogis

Kesenjangan kompetensi digital dan pedagogis yang ditemukan dalam berbagai studi berdampak pada keterbatasan implementasi pembelajaran IPA berbasis teknologi di kelas. Hasil kajian menunjukkan bahwa meskipun penggunaan teknologi oleh guru IPA semakin meningkat, pemanfaatannya masih dominan pada fungsi dasar seperti penyajian materi, sementara penggunaan teknologi untuk eksperimen digital, analisis data, dan pembelajaran interaktif masih relatif rendah. Kondisi ini menyebabkan potensi teknologi pembelajaran belum sepenuhnya terwujud dalam praktik pembelajaran IPA.

Selain itu, keterbatasan penguasaan kerangka *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) berdampak pada rendahnya konsistensi dan kualitas integrasi teknologi dalam pembelajaran. Guru cenderung mengalami kesulitan dalam merancang aktivitas pembelajaran yang memadukan teknologi, pedagogi, dan konten sains secara terpadu. Akibatnya, penerapan pembelajaran IPA berbasis teknologi bersifat sporadis, tidak berkelanjutan, dan sangat bergantung pada kemampuan individu guru, sehingga kualitas pembelajaran antar kelas dan antar sekolah menjadi tidak merata (Anggraini et al., 2024; Fatimah et al., 2024; Mustafa et al., 2024).

2) Kesenjangan Infrastruktur Digital

Artikel rentang waktu 2020-2025 sangat konsisten menunjukkan ketimpangan antara sekolah kota dengan sekolah desa, sekolah negeri dengan sekolah swasta, dan sekolah berbiaya tinggi dengan sekolah berbiaya rendah. Keterbatasan yang paling banyak disebut yaitu internet yang tidak stabil, tidak tersedia komputer/tablet siswa, tidak memiliki laboratorium digital atau perangkat sensor, hanya satu proyektor di sekolah. Tantangan ini menjadi penghambat terbesar implementasi pembelajaran IPA berbasis teknologi. Sekolah-sekolah dengan sumber daya terbatas (terutama rural/terpencil) menunjukkan bahwa infrastruktur yang lemah menjadi penghambat utama integrasi teknologi dalam pembelajaran seperti koneksi yang sering terputus, *bandwidth* rendah, atau bahkan tidak tersedia sama sekali. Hal ini memperburuk kesenjangan dalam pembelajaran IPA seperti materi

atau eksperimen yang idealnya diperkaya melalui simulasi digital atau media interaktif tidak bisa diakses semua siswa ataupun guru, sehingga potensi pembelajaran 4.0 tidak terealisasi secara merata (Mustafa et al., 2024)

3) Beban Kerja Guru dan Minimnya Pelatihan Berkelanjutan

Banyak penelitian melaporkan guru kesulitan mengintegrasikan teknologi karena pelatihan bersifat satu kali (*non-sustainable*), tidak ada pendampingan lanjutan, beban administratif tinggi, waktu terbatas untuk inovasi pembelajaran. Sebagian guru merasa kewalahan dengan tuntutan digitalisasi yang meningkat cepat. Tekanan karena beban kerja akan berhubungan negatif dengan *work engagement* guru yaitu semakin tinggi beban dan tekanan, semakin rendah keterlibatan guru dalam pekerjaan. Pad negara berkembang beban kerja dan tuntutan administratif menghambat inovasi atau perubahan metode mengajar, karena guru tidak punya cukup energi atau waktu ekstra untuk eksperimen pedagogis atau integrasi teknologi. Hal tersebut dapat memperberat beban guru di era pendidikan modern (Chyquitita, 2024; *OECD Digital Education Outlook 2021*, 2021; Wang et al., 2025).

4) Kurikulum dan Kebijakan yang Belum Sepenuhnya Mendukung Integrasi Teknologi

Kurikulum dan kebijakan pendidikan belum sepenuhnya selaras dengan tuntutan integrasi teknologi dalam pembelajaran IPA. Meskipun digitalisasi pendidikan telah menjadi visi strategis, implementasinya di tingkat kurikulum masih kurang operasional, sehingga guru belum memperoleh panduan yang jelas untuk menerapkan pembelajaran berbasis teknologi secara sistematis di kelas. Selain itu, sistem evaluasi masih berfokus pada capaian pengetahuan tradisional, sehingga pembelajaran berbasis proyek, pemanfaatan teknologi digital, dan literasi data belum menjadi prioritas utama. Kondisi ini membuat guru cenderung menggunakan pendekatan konvensional karena lebih aman secara administratif, meskipun kurang mendukung pengembangan kompetensi abad ke-21 (Alzakwani et al., 2025; Boeskens & Meyer, 2025; Mustafa et al., 2024).

Diskusi

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa potensi pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran IPA di Era Revolusi Industri 4.0 sangat besar, terutama dalam memperkaya pengalaman belajar siswa, meningkatkan literasi sains, serta

mengembangkan keterampilan abad ke-21. Pemanfaatan teknologi digital dalam pembelajaran sains, kolaborasi profesional guru berbasis platform daring, pembelajaran berbasis proyek dan data, serta integrasi STEAM dan *computational thinking* memberikan peluang bagi guru IPA untuk mentransformasi pembelajaran dari sekadar transfer pengetahuan menjadi proses investigatif dan kontekstual. Namun, potensi tersebut belum sepenuhnya terealisasi karena berbagai tantangan struktural dan profesional yang dihadapi guru. Kesenjangan kompetensi digital pedagogis menunjukkan bahwa transformasi pendidikan tidak cukup hanya menyediakan teknologi, tetapi harus diiringi dengan penguatan kapasitas guru melalui pelatihan berkelanjutan yang berfokus pada desain pembelajaran bermakna. Temuan ini memperkuat pandangan bahwa literasi digital guru memiliki hubungan langsung dengan kualitas praktik pedagogis di kelas.

Selain itu, ketimpangan infrastruktur digital memperlihatkan bahwa integrasi teknologi berpotensi memperlebar kesenjangan mutu pendidikan apabila tidak diimbangi dengan kebijakan pemerataan akses. Sekolah dengan sumber daya terbatas cenderung tertinggal dalam mengimplementasikan pembelajaran IPA berbasis teknologi, sehingga siswa tidak memperoleh pengalaman belajar yang setara. Beban kerja guru dan minimnya dukungan kebijakan operasional juga menjadi faktor penghambat utama. Ketika kurikulum dan sistem evaluasi belum secara eksplisit mendukung pembelajaran digital, guru cenderung memprioritaskan metode konvensional yang lebih aman secara administratif. Hal ini menunjukkan bahwa transformasi menuju *Education 4.0* membutuhkan pendekatan sistemik yang melibatkan reformasi kurikulum, kebijakan penilaian, serta manajemen beban kerja guru.

Secara keseluruhan, temuan potensi dan tantangan guru IPA dalam Era Revolusi Industri 4.0 menunjukkan bahwa keberhasilan integrasi teknologi tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan inovasi digital, tetapi juga oleh kesiapan guru, dukungan infrastruktur, serta keselarasan kebijakan dan kurikulum. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Theodorio et al. (2024) yang menyatakan bahwa keberhasilan seorang guru dalam implementasi teknologi tidak hanya tergantung pada perangkat digital semata, tetapi juga pada dukungan kelembagaan, kesiapan pendidik, serta adaptasi kebijakan pendidikan dalam konteks pasca-pandemi. Selain itu Fan et al. (2025) juga menyoroti bahwa meskipun banyak pendidik mengakui potensi teknologi digital, namun masih terdapat hambatan seperti kurangnya pelatihan profesional dan resistensi terhadap perubahan. Perlunya dukungan kebijakan dan pelatihan yang kuat agar integrasi teknologi bisa berhasil. Hasil penelitian ini juga diperkuat oleh temuan Rafya et al. (2024) yang menyatakan bahwa faktor kesiapan guru, termasuk kompetensi pedagogis dan profesional, merupakan elemen penting yang mempengaruhi keberhasilan integrasi teknologi dalam kurikulum secara efektif. Oleh karena itu,

penguatan profesionalisme guru IPA perlu diarahkan pada pengembangan kompetensi *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) yaitu kerangka pengetahuan guru yang mengintegrasikan teknologi, pedagogi, dan materi ajar dalam proses pembelajaran. Selain itu, perlu penyediaan pelatihan berkelanjutan yang kontekstual, pemerataan infrastruktur digital, serta reformasi kurikulum yang lebih operasional. Adanya dukungan sistemik tersebut, menjadikan potensi teknologi dalam pembelajaran IPA dapat dimanfaatkan secara optimal untuk meningkatkan kualitas pendidikan sains dan kesiapan siswa menghadapi tantangan abad ke-21.

D. Simpulan

Tinjauan literatur terhadap penelitian internasional dan nasional periode 2020–2025 menunjukkan bahwa Revolusi Industri 4.0 membuka peluang besar bagi inovasi pembelajaran IPA Sekolah Dasar, namun sekaligus memunculkan tantangan kompleks yang harus diatasi secara sistematis. Dari sisi potensi, teknologi digital seperti laboratorium virtual, simulasi sains, kecerdasan buatan, platform pembelajaran daring, serta perangkat pengumpul data berbasis teknologi memberikan ruang luas bagi guru IPA untuk memperkaya pengalaman belajar siswa. Namun demikian, literatur juga menegaskan bahwa implementasi teknologi dalam pembelajaran IPA menghadapi sejumlah tantangan struktural. Kesenjangan kompetensi digital dan pedagogis masih menjadi hambatan utama, dimana sebagian guru belum siap mengintegrasikan teknologi ke dalam praktik pembelajaran secara efektif. Kesenjangan infrastruktur, terutama terkait koneksi, ketersediaan perangkat, dan akses ke laboratorium virtual, turut memperlebar disparitas antara sekolah perkotaan dan pedesaan. Beban kerja guru yang tinggi serta minimnya pelatihan berkelanjutan mengurangi ruang untuk bereksperimen dan berinovasi. Selain itu, kurikulum dan kebijakan pendidikan di banyak daerah masih belum sepenuhnya mendukung transformasi digital yang terintegrasi, sehingga teknologi sering digunakan secara parsial dan tidak terarah. Rekomendasi yang dapat menjadi arah bagi penelitian selanjutnya. Secara keseluruhan, kajian ini menegaskan bahwa pemanfaatan teknologi dalam pendidikan IPA bukan semata persoalan ketersediaan perangkat, melainkan proses transformasi pedagogis yang membutuhkan dukungan sistemik. Rekomendasi penelitian di masa mendatang diharapkan untuk menggunakan pendekatan empiris, baik kuantitatif maupun kualitatif guna memperoleh gambaran yang lebih kontekstual terkait kesiapan, kompetensi digital, dan praktik nyata guru sekolah dasar dalam mengintegrasikan teknologi pembelajaran. Studi lapangan akan memberikan bukti langsung yang melengkapi temuan berbasis literatur untuk mendorong pembelajaran sains yang lebih bermakna, adaptif, dan relevan dengan tuntutan abad ke-21.

E. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyelesaian artikel SLR ini. Terima kasih disampaikan kepada para dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu dan solusi dalam menyelesaikan artikel ini dengan sangat baik. Terima kasih juga kepada para peneliti dan akademisi yang hasil penelitiannya menjadi landasan penting dalam analisis potensi dan tantangan guru IPA sekolah dasar pada era Revolusi Industri 4.0. Penghargaan juga diberikan kepada institusi dan perpustakaan universitas Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah menyediakan akses terhadap berbagai basis data ilmiah seperti Scopus, Web of Science, dan Google Scholar sehingga proses pengumpulan literatur dapat berjalan dengan lancar.

F. Pernyataan Kontribusi Penulis

AS selaku Penulis Pertama merupakan seorang Dosen di Institut Keislaman Tuah Negeri Pelalawan, Riau juga Mahasiswa Doktoral Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta yang bertanggung jawab atas keseluruhan proses penelitian, meliputi perencanaan, perumusan masalah, pengumpulan dan analisis data, serta penulisan naskah. N selaku Penulis Kedua merupakan seorang dosen di Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta berperan dalam memberikan arahan dan masukan selama penelitian dan penulisan artikel. S selaku Penulis Ketiga merupakan seorang dosen di Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta berkontribusi dalam memberikan masukan baik itu secara teori maupun ide-ide dalam penelitian. SP selaku Penulis Keempat merupakan seorang dosen di Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta yang berkontribusi dalam proses penelitian dan penyempurnaan penulisan artikel ini. Atas kontribusi keempat penulis maka penelitian dan artikel ini dapat diselesaikan dengan baik.

G. Referensi

- Alzakwani, M. H. H., Zabriv, S. M., & Ali, R. R. (2025). Training of ICT for Educational performance: A Systematic Review. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 8(1), 2009–2020. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v8i1.4873>
- Amna Emda, Setiawan, S., Darwan, D., & Darwani. (2025). Laboratorium Virtual Sebagai Alternatif Media Berbasis Digital dalam Pembelajaran IPA. *JKA: Jurnal Kolaboratif Akademika*, 2(2), 141–147. <https://doi.org/10.26811/qp7rgf84>

- Anggraini, T., Ahmad, M., & Hanafi, I. (2024). Digital Literacy and Teaching Experience as Predictors of Pedagogical Competence in the Digital Era. *Tarbawi: Jurnal Keilmuan Manajemen Pendidikan*, 10(02), 295–306. <https://doi.org/10.32678/tarbawi.v10i02.10795>
- Bala, R., & Gupta, P. (2024). Virtual Reality in Education. In *Transforming Education with Virtual Reality* (pp. 165–180). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781394200498.ch10>
- Boeskens, L., & Meyer, K. (2025). *Policies for the Digital Transformation of School Education* (328th ed., OECD Education Working Papers). <https://doi.org/10.1787/464dab4d-en>
- Calheiro, L. B., & Greca, I. M. (2025). Which Maker and STEAM integration styles stand out in education? A systematic review of pedagogical practices in teacher education. In *International Journal of Technology and Design Education*. Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s10798-025-10017-y>
- Chyquitita, T. (2024). Meningkatkan kualitas pengajaran: Menyikapi tantangan profesionalisme guru di masa kini. *Nautical: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 3(3). <https://doi.org/10.55904/nautical.v3i3.1309>
- Deák, C., & Kumar, B. (2024). A Systematic Review of STEAM Education's Role in Nurturing Digital Competencies for Sustainable Innovations. In *Education Sciences* (Vol. 14, Issue 3). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/educsci14030226>
- Fan, J., Wang, H., & Gu, X. (2025). *Assessing Digital Competence Frameworks in K-12 Educators: A Mixed-Methods Study of 66 Schools from China*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-6717329/v1>
- Fatimah, S., Prasetyo, S., & Munastiwi, S. (2024). Inovasi Dalam Pengajaran IPA di Sekolah Dasar Melalui Penggunaan Teknologi Digital. *MUBTADI: Jurnal Pendidikan Ibtidaiyah*, 6(1), 15–27.
- Handayani, F. L., Putri, D. A., Fahrurroza, S. A., Rizqi, S. A., Munbaits, T. B., Julyani, T. N., & Sukmawati, W. (2023). Analisis Penggunaan Teknologi pada Pembelajaran IPA di Sekolah Dasar. *Jurnal Teknologi Pendidikan*, 1(2), 7. <https://doi.org/10.47134/jtp.v1i2.105>
- Jamah, A., Alnagrat, A., Ismail, R. C., Syed, Z., & Syed, I. (2022). The Opportunities and challenges in virtual reality for virtual laboratories. In *Innovative Teaching and Learning Journal* (Vol. 6, Issue 2). December.

- Kemendikbudristek. (2022). *Dimensi, Elemen, dan Subelemen Profil Pelajar Pancasila pada Kurikulum Merdeka*.
- Kumar, S. (2025). Education 4.0: Transforming learning for the fourth industrial revolution. *Higher Education for the Future*, 12(2).
- Kurt, G., & Akoglu, K. (2023). Project-based learning in science education: A comprehensive literature review. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 19(3), e2311. <https://doi.org/10.29333/ijese/13677>
- Lestari, D. P., Supahar, Paidi, Suwarjo, & Herianto. (2023). Effect of science virtual laboratory combination with demonstration methods on lower-secondary school students' scientific literacy ability in a science course. *Education and Information Technologies*, 28(12), 16153–16175. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11857-8>
- Luthfi, T., Shalimar Azzahra, Zidan Ahmad Farhan, Syifa Mutiara Puradireja, Sofyan Iskandar, & Nadia Tiara Antik Sari. (2023). Media Pembelajaran Digital sebagai Penunjang Mata Pelajaran IPA di Sekolah Dasar. *Indonesian Journal of Teaching and Learning (INTEL)*, 2(4), 484–492. <https://doi.org/10.56855/intel.v2i4.374>
- Meronda, D. A., Widarti, H. R., & Yahmin, Y. (2025). Virtual Laboratories in Science Education: A Systematic Review of Effectiveness on Conceptual Understanding and Learning Outcomes. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 26(3), 2020–2042. <https://doi.org/10.23960/jpmipa.v26i3.pp2020-2042>
- Mustafa, F., Nguyen, H. T. M., & Gao, X. (Andy). (2024). The challenges and solutions of technology integration in rural schools: A systematic literature review. *International Journal of Educational Research*, 126, 102380. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2024.102380>
- Nengsih, S., & Haryanti, Y. D. (2024). SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW: MEDIA BERBASIS DIGITAL PADA PEMBELAJARAN IPA DI SEKOLAH DASAR. *JURNAL MADINASIKA Manajemen Pendidikan Dan Keguruan*, 5(2), 58–67. <https://doi.org/10.31949/madinasika.v5i2.7811>
- Nur Ekizce, H., Anilan, B., & Atalay, N. (n.d.). Pre-service science teachers' levels of awareness of industry 4.0 concepts *1. *Journal of Innovative Research in Teacher Education*, 3(2), 192–208. <https://doi.org/10.29329/jirte.2022.464.9>
- OECD *Digital Education Outlook 2021*. (2021). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/589b283f-en>

- Pane, E. P., Lubis, N. F., & Simarmata, G. (2024). Application of Interactive Virtual Lab Media Based on a STEM Approach in Improving Students' Scientific Literacy and Learning Motivation. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(12), 10736-10744. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i12.8589>
- Puang Intan Maylani Akbar. (2025). Pengaruh Literasi Digital Terhadap Proses Pembelajaran Mahasiswa Dalam Era Revolusi Industri 4.0. *Jurnal MEKOM (Media Komunikasi Pendidikan Kejuruan)*, 24-29. <https://doi.org/10.26858/mkpk.v12i1.6890>
- Rafya, E. A. J., Haidarah, K. K. S., & Qadhi, S. (2024). Impact of Integrating Educational Technology on Teacher Preparedness: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Religion*, 5(11), 9301-9314. <https://doi.org/10.61707/dhb6fq20>
- Rehman, N., Huang, X., Mahmood, A., AlGerafi, M. A. M., & Javed, S. (2024). Project-based learning as a catalyst for 21st-Century skills and student engagement in the math classroom. *Heliyon*, 10(23). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39988>
- Revina, S., Pramana, R. P., Bjork, C., & Suryadarma, D. (2023). Replacing the old with the new: long-term issues of teacher professional development reforms in Indonesia. *Asian Education and Development Studies*, 12(4-5), 262-274. <https://doi.org/10.1108/AEDS-12-2022-0148>
- Segev, Y., Hason, S., & Hayak, M. (2025). The Influence of an Online Professional Learning Community on Teacher Professional Development for Fostering a Love of Reading. *TechTrends*. <https://doi.org/10.1007/s11528-025-01146-1>
- Stavermann, K. (2025). Online Teacher Professional Development: A Research Synthesis on Effectiveness and Evaluation. *Technology, Knowledge and Learning*, 30(1), 203-240. <https://doi.org/10.1007/s10758-024-09792-9>
- Theodorio, A. O., Waghid, Z., & Wambua, A. (2024). Technology integration in teacher education: challenges and adaptations in the post-pandemic era. *Discover Education*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s44217-024-00341-1>
- Wang, H., Sun, Y., Wang, W., & Liang, H. (2025). Exploring the relationship between teachers' perceived workload, challenge-hindrance stress, and work engagement: a person-centered approach. *BMC Psychology*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s40359-025-02537-y>