



PENGUATAN KETERAMPILAN ABAD 21 GURU MIPA DALAM PEMBELAJARAN MIPA: TINJAUAN 4C, HOTS, DAN TPACK

Ria Indria P¹, Sri Mulyati², Lusy Rahayu³, Risa Purnamasari⁴, Nuzulia Karim⁵

Fakultas Pascasarjana, Program Studi Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Indraprasta PGRI, Jakarta^{1, 2, 3, 4, 5}

e-mail: ria.rancabungur@email.ac.id¹, smulyati1705@gmail.com²,

Lusyrahayu81@gmail.com³, risapurnamasari.rp@gmail.com⁴, nuzuliakarim01@gmail.com⁵

Diterima: 17/12/2025; Direvisi: 8/1/2026; Diterbitkan: 15/1/2026

ABSTRAK

Transformasi pendidikan kontemporer mengharuskan pendidik, terutama dalam bidang Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA), menguasai kompetensi yang adaptif terhadap perubahan global, inovasi teknologi, dan kebutuhan pembelajaran generasi digital. Kompetensi abad ke-21 mencakup berpikir kritis (*critical thinking*), kreativitas (*creativity*), kolaborasi (*collaboration*), komunikasi (*communication*) atau disingkat 4C, keterampilan berpikir tingkat tinggi (*Higher Order Thinking Skills/HOTS*), dan pengetahuan teknologi pedagogi konten (*Technological Pedagogical Content Knowledge/TPACK*) yang dianggap fundamental dalam menciptakan pembelajaran MIPA bermakna. Tujuan penulisan artikel ini ialah menganalisis kepentingan strategis pengembangan kompetensi abad ke-21 bagi pendidik MIPA dalam sistem pendidikan Indonesia. Pendekatan kajian literatur digunakan untuk menelaah publikasi riset dan regulasi pendidikan yang terbit antara tahun 2020 hingga 2025. Temuan mengindikasikan adanya disparitas antara ekspektasi pembelajaran abad ke-21 dengan kapasitas riil pendidik MIPA, terutama pada aspek fasilitasi HOTS dan penerapan teknologi berbasis pedagogi. Pelaksanaan Kurikulum Merdeka, pembentukan karakter melalui Profil Pelajar Pancasila, dan performa literasi sains serta matematika siswa Indonesia dalam evaluasi global seperti PISA memperkuat argumentasi pentingnya peningkatan kapasitas pendidik MIPA dalam keterampilan abad ke-21. Artikel ini mengusulkan pengembangan keprofesian berkelanjutan, komunitas praktik pendidik, dan optimalisasi teknologi melalui kerangka TPACK sebagai pendekatan utama dalam peningkatan kompetensi.

Kata kunci: keterampilan abad ke-21, guru MIPA, 4C, HOTS, TPACK, Kurikulum Merdeka

Abstract

Contemporary educational transformation requires educators, particularly in Mathematics and Natural Sciences (MIPA), to master competencies that are adaptive to global changes, technological innovation, and the learning needs of the digital generation. Twenty-first-century competencies encompass critical thinking, creativity, collaboration, and communication (4C), Higher Order Thinking Skills (HOTS), and Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK), which are considered fundamental in creating meaningful MIPA learning. The purpose of this article is to analyze the strategic importance of developing twenty-first-century competencies for MIPA educators within the Indonesian education system. A literature review approach was employed to examine research publications and educational regulations published between 2020 and 2025. The findings indicate a disparity between the expectations of twenty-first-century learning and the actual capacity of MIPA educators, particularly in facilitating HOTS and implementing pedagogy-based technology. The implementation of the Merdeka Curriculum, character building through the Pancasila Student Profile, and the



performance of Indonesian students in science and mathematics literacy in global assessments such as PISA strengthen the argument for the importance of enhancing MIPA educators' capacity in twenty-first-century skills. This article proposes continuous professional development, educator communities of practice, and technology optimization through the TPACK framework as primary approaches to competency enhancement.

Keywords: *21st century skills, MIPA teachers, 4C, HOTS, TPACK, Merdeka Curriculum*

PENDAHULUAN

Dinamika perubahan global yang dipicu oleh akselerasi kemajuan sains dan teknologi pada era kontemporer telah membawa implikasi yang sangat substansial dan mendasar terhadap seluruh ekosistem pendidikan. Pergeseran paradigma ini menuntut adanya transformasi radikal dalam orientasi pendidikan, yang kini tidak lagi memadai jika hanya bertumpu pada sekadar akuisisi pengetahuan faktual atau hafalan semata. Tantangan zaman mengharuskan sistem pendidikan untuk bergerak dinamis menuju pengembangan kapasitas kognitif tingkat tinggi yang meliputi kemampuan analisis kritis, daya inovasi, sinergi dalam kelompok, serta literasi teknologi informasi yang mumpuni. Dalam lanskap yang berubah cepat ini, institusi pendidikan dihadapkan pada tuntutan untuk mencetak sumber daya manusia yang adaptif, resilien, dan kompetitif secara global. Fenomena ini secara otomatis mengubah peran tradisional pendidik, dari sekadar penyampai informasi menjadi fasilitator pembelajaran yang mampu merancang pengalaman belajar bermakna. Oleh karena itu, penguasaan kompetensi baru yang relevan dengan tuntutan abad ini bukan lagi sekadar pilihan, melainkan sebuah kebutuhan fundamental yang harus dipenuhi oleh setiap tenaga pendidik untuk memastikan relevansi pendidikan (Salsabila et al., 2025; Supardi et al., 2025; Zaskia et al., 2025).

Urgensi transformasi kompetensi ini terasa semakin menonjol dan krusial, khususnya dalam konteks pembelajaran Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA). Hakikat keilmuan MIPA yang sangat mengutamakan logika penalaran yang runtut, kemampuan resolusi masalah yang sistematis, serta penerapan metodologi ilmiah yang ketat, menuntut pendekatan pembelajaran yang berbeda dari masa lalu. Pendidik MIPA kini memikul tanggung jawab besar untuk tidak hanya mengajarkan rumus atau teori, tetapi juga menanamkan pola pikir ilmiah yang esensial bagi peserta didik dalam memahami fenomena alam dan sosial. Dalam situasi ini, pendidik dituntut untuk mampu menerjemahkan konsep-konsep abstrak menjadi pengalaman belajar yang konkret dan relevan dengan kehidupan sehari-hari. Kapasitas pendidik untuk menjembatani kesenjangan antara teori akademik dan aplikasi praktis menjadi kunci keberhasilan pembelajaran. Tanpa adanya pembaruan dalam strategi pedagogi yang diterapkan oleh guru MIPA, dikhawatirkan peserta didik akan mengalami kesulitan dalam mengembangkan kerangka berpikir logis dan analitis yang menjadi fondasi utama dalam penguasaan disiplin ilmu eksakta di masa depan (Insani et al., 2025).

Dalam kerangka pengembangan kompetensi tersebut, konsepsi *4C* yang mencakup *critical thinking*, *creativity*, *collaboration*, dan *communication* menjadi pilar fundamental yang tak terpisahkan dari pembelajaran MIPA modern. Kemampuan berpikir kritis dan kreatif merupakan elemen esensial yang memungkinkan peserta didik untuk menganalisis fenomena ilmiah secara mendalam, mengevaluasi bukti, serta menghasilkan solusi inovatif atas permasalahan yang dihadapi. Sementara itu, aspek kolaborasi dan komunikasi memegang peranan vital dalam menunjang proses diskursus ilmiah serta aktivitas penyelidikan berbasis tim. Pendidik MIPA harus mampu merancang skenario pembelajaran yang memaksa siswa untuk berkolaborasi dalam memecahkan masalah kompleks dan mengomunikasikan temuan mereka secara efektif. Integrasi keempat elemen ini dalam setiap sesi pembelajaran akan



membentuk ekosistem kelas yang dinamis, di mana siswa tidak hanya pasif menerima informasi, tetapi aktif terlibat dalam konstruksi pengetahuan. Dengan demikian, penguasaan keterampilan *4C* oleh guru menjadi prasyarat mutlak agar mereka dapat mentransfer keterampilan yang sama kepada para peserta didiknya melalui keteladanan dan desain instruksional yang tepat.

Selanjutnya, penguasaan *Higher Order Thinking Skills* atau yang dikenal dengan akronim *HOTS* memiliki signifikansi yang sangat tinggi bagi pendidik MIPA dalam meningkatkan kualitas akademik. Konsep ini mengharuskan pendidik untuk mampu menyusun aktivitas pembelajaran dan instrumen evaluasi yang melampaui level kognitif rendah seperti mengingat dan memahami. Guru MIPA dituntut untuk merancang tantangan intelektual yang mendorong siswa melakukan proses analisis mendalam, evaluasi kritis, dan kreasi produk atau gagasan baru. Implementasi *HOTS* dalam pembelajaran MIPA bertujuan untuk melatih siswa agar terbiasa berpikir kompleks dan tidak mudah puas dengan jawaban tunggal atau solusi instan. Kemampuan guru dalam memfasilitasi *HOTS* akan sangat menentukan seberapa jauh siswa dapat mengembangkan kapasitas metakognitif mereka (Salsabila et al., 2025). Tanpa kompetensi ini, pembelajaran MIPA akan terjebak pada rutinitas prosedural yang membosankan dan gagal membekali siswa dengan ketajaman intelektual yang diperlukan untuk memecahkan masalah-masalah multidimensi yang akan mereka hadapi di dunia nyata maupun dalam jenjang pendidikan yang lebih tinggi (Sholikhah & Subekti, 2025).

Selain aspek kognitif, integrasi teknologi dalam pembelajaran melalui kerangka kerja *Technological Pedagogical Content Knowledge* atau *TPACK* menjadi kompetensi wajib bagi guru MIPA di era digital. *TPACK* bukan sekadar tentang kemampuan menggunakan gawai atau perangkat lunak di dalam kelas, melainkan sebuah seni mengintegrasikan pengetahuan konten materi, strategi pedagogi, dan alat teknologi secara koheren dan efektif. Pendidik MIPA harus mampu memilih teknologi yang tepat untuk memvisualisasikan konsep abstrak, mensimulasikan fenomena yang sulit diamati secara langsung, atau memfasilitasi pengumpulan dan analisis data eksperimen. Penguasaan kerangka kerja ini memungkinkan guru untuk menciptakan lingkungan belajar yang interaktif dan adaptif terhadap gaya belajar generasi digital. Tantangan terbesar dalam penerapan *TPACK* adalah menjaga keseimbangan agar teknologi tidak mendominasi atau mendistraksi, melainkan benar-benar berfungsi sebagai penguat proses pedagogis. Guru yang kompeten dalam *TPACK* akan mampu mentransformasi materi pelajaran yang sulit menjadi lebih mudah dipahami dan menarik, sekaligus membekali siswa dengan literasi digital yang krusial (Suyamto et al., 2020; Zaskia et al., 2025).

Meskipun urgensi penguasaan keterampilan abad ke-21 sudah sangat jelas, realitas di lapangan menunjukkan adanya kesenjangan yang cukup lebar antara ekspektasi ideal dengan kondisi aktual kapasitas pendidik. Berbagai data evaluasi pendidikan, termasuk hasil asesmen global seperti *PISA*, mengindikasikan bahwa performa literasi sains dan matematika siswa Indonesia masih perlu ditingkatkan secara signifikan. Rendahnya capaian ini sering kali berkorelasi dengan belum optimalnya kapasitas guru dalam memfasilitasi pembelajaran berbasis *HOTS* dan penerapan teknologi yang berlandaskan pedagogi yang kuat. Masih banyak pendidik yang merasa kesulitan atau kurang percaya diri dalam meninggalkan metode ceramah konvensional dan beralih ke pendekatan yang berpusat pada siswa atau *student-centered*. Selain itu, implementasi kurikulum nasional yang baru, yaitu Kurikulum Merdeka, yang menekankan pada pembentukan karakter melalui Profil Pelajar Pancasila, menuntut adaptasi cepat yang sering kali belum diimbangi dengan kesiapan kompetensi guru di lapangan. Disparitas ini menjadi masalah krusial yang harus segera diatasi agar tujuan pendidikan nasional dapat tercapai.



Berdasarkan paparan permasalahan dan tantangan tersebut, artikel ini hadir dengan nilai kebaruan yang berfokus pada analisis strategis penguatan keterampilan abad ke-21 secara spesifik bagi pendidik MIPA. Penelitian ini bertujuan untuk membedah urgensi integrasi antara *4C*, *HOTS*, dan *TPACK* sebagai satu kesatuan kompetensi holistik yang tidak dapat dipisahkan. Melalui tinjauan ini, diharapkan dapat dirumuskan alternatif strategi pengembangan kompetensi yang relevan, seperti pengembangan keprofesian berkelanjutan dan pembentukan komunitas praktik yang efektif. Artikel ini menawarkan perspektif bahwa peningkatan kualitas pembelajaran MIPA tidak bisa dilakukan secara parsial, melainkan harus melalui pendekatan komprehensif yang memberdayakan guru sebagai agen perubahan utama. Dengan memberikan peta jalan yang jelas bagi pengembangan kapasitas guru, kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam upaya menjembatani kesenjangan kualitas pendidikan dan mempersiapkan generasi penerus yang memiliki daya saing tinggi di kancah global melalui penguasaan sains dan teknologi yang mumpuni.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan pendekatan kualitatif dengan desain studi kepustakaan atau *literature review* untuk menelaah secara komprehensif strategi penguatan kompetensi pendidik. Metode ini dipilih untuk mensintesis temuan-temuan empiris dan teoretis yang tersebar dalam berbagai publikasi ilmiah tanpa melakukan intervensi langsung di lapangan. Korpus data utama dalam studi ini bersumber dari artikel jurnal bereputasi, prosiding konferensi, serta dokumen regulasi pendidikan yang diterbitkan dalam rentang waktu lima tahun terakhir, yakni antara tahun 2020 hingga 2025. Penelusuran literatur dilakukan secara sistematis melalui pangkalan data akademik terkemuka seperti *Google Scholar*, *ERIC*, dan *Scopus*. Untuk memastikan relevansi data, pencarian menggunakan kata kunci spesifik meliputi *21st century skills*, *MIPA teachers*, *4C skills*, *Higher Order Thinking Skills (HOTS)*, dan *Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)*, yang dikombinasikan untuk menjangkau referensi yang paling otoritatif.

Proses pengumpulan data dilaksanakan melalui serangkaian tahapan seleksi yang ketat guna menjamin validitas dan reliabilitas referensi yang digunakan. Peneliti menetapkan kriteria inklusi yang mewajibkan literatur ditulis dalam Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris serta memiliki fokus pembahasan eksplisit pada pengembangan kompetensi guru Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA). Prosedur seleksi diawali dengan penyaringan berdasarkan judul dan abstrak untuk membuang artikel yang tidak relevan, dilanjutkan dengan pembacaan teks lengkap atau *full-text reading* untuk memverifikasi kedalaman substansi. Instrumen utama dalam penelitian ini adalah peneliti sendiri yang dibantu dengan matriks atau tabel sintesis data untuk mengorganisasikan temuan. Tabel tersebut dirancang untuk memetakan metode penelitian, temuan utama, serta kesenjangan penelitian dari setiap artikel yang dianalisis, memastikan bahwa data yang terhimpun bersifat representatif dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademis.

Analisis data dilakukan dengan menggunakan teknik analisis tematik untuk mengidentifikasi pola, kesamaan, dan perbedaan pandangan dari berbagai literatur yang telah dikumpulkan. Data yang telah diekstraksi kemudian dikategorisasikan ke dalam tiga dimensi utama kompetensi, yaitu keterampilan *4C* (*critical thinking, creativity, collaboration, communication*), kemampuan berpikir tingkat tinggi atau *HOTS*, serta integrasi teknologi melalui kerangka *TPACK*. Peneliti melakukan sintesis mendalam untuk menghubungkan temuan-temuan parsial menjadi satu kerangka pemahaman yang utuh mengenai urgensi dan strategi pengembangan kapasitas guru. Selain itu, interpretasi data juga dikontekstualisasikan



dengan kebijakan pendidikan nasional saat ini, khususnya implementasi *Kurikulum Merdeka*, untuk memberikan rekomendasi yang aplikatif. Hasil analisis akhir disajikan secara deskriptif-naratif untuk menjawab rumusan masalah mengenai kesenjangan kompetensi dan strategi penguatan yang diperlukan oleh pendidik MIPA di era digital.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Konseptualisasi Keterampilan Abad ke-21 dalam Pendidikan MIPA

Hasil analisis data menunjukkan bahwa konseptualisasi keterampilan abad ke-21 dalam konteks pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) merepresentasikan sebuah rangkaian kompetensi yang sangat kompleks dan mendesak untuk dikuasai. Keterampilan ini tidak lagi sekadar menjadi pelengkap kurikulum, melainkan fondasi utama yang diperlukan siswa untuk menghadapi tantangan global yang semakin dinamis serta akselerasi teknologi yang masif. Dalam kerangka ini, pendidik MIPA memegang posisi yang sangat strategis karena mereka bertanggung jawab untuk mengintegrasikan kompetensi tersebut ke dalam desain pembelajaran, proses implementasi di kelas, hingga evaluasi yang sistematis. Temuan menunjukkan bahwa pemahaman guru mengenai keterampilan ini sangat mempengaruhi cara mereka menyusun strategi pengajaran yang relevan, di mana pendidikan sains dan matematika menjadi wahana utama untuk melatih logika berpikir yang sistematis dan terstruktur bagi peserta didik (Dina, 2025; Salsabila et al., 2025; Sholikhah & Subekti, 2025).

Lebih lanjut, data penelitian mengungkapkan bahwa fasilitasi keterampilan berpikir tingkat tinggi dalam pembelajaran sains memiliki keterkaitan intrinsik yang kuat dengan kompetensi abad ke-21. Hal ini mencakup kapasitas berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan komunikasi yang harus dibangun secara simultan. Keterampilan-keterampilan ini berfungsi sebagai respons adaptif terhadap tantangan zaman yang menuntut individu untuk memiliki kapasitas analisis kritis yang tajam serta kemampuan pemecahan masalah yang inovatif. Selain aspek kognitif, hasil kajian juga menyoroti pentingnya pengembangan kompetensi sosial dan wawasan global melalui pembelajaran MIPA. Dengan demikian, penguasaan konsep sains dan matematika tidak berdiri sendiri, melainkan menjadi sarana untuk membentuk karakter siswa yang mampu berinovasi, bekerja sama dalam tim lintas disiplin, dan mengomunikasikan ide-ide kompleks secara efektif dalam lingkungan masyarakat modern (Luon et al., 2025; Salsabila et al., 2025; Suardika, 2023).

2. Implementasi Keterampilan 4C dalam Proses Pembelajaran

Terkait implementasi di lapangan, hasil penelusuran menunjukkan bahwa integrasi keterampilan 4C (Critical Thinking, Creativity, Collaboration, Communication) dalam pembelajaran MIPA merupakan sebuah keniscayaan untuk mempersiapkan kesiapan akademik siswa (Monica et al., 2021; Nurjannah, 2022; Sartini & Mulyono, 2022). Berpikir kritis dalam konteks ini termanifestasi tidak hanya dalam kemampuan guru merancang aktivitas analisis data, tetapi juga dalam mengembangkan kapasitas siswa untuk mempertanyakan asumsi dasar, membedakan antara fakta ilmiah dan opini, serta mengaplikasikan penalaran logis dalam menyelesaikan masalah kontekstual. Sementara itu, aspek kreativitas sering kali didorong melalui model pembelajaran berbasis proyek atau pendekatan STEM yang memberikan ruang bagi siswa untuk mengeksplorasi solusi orisinal (Kusumasari et al., 2025; Salsabila et al., 2025; Widana & Septiari, 2021). Data lapangan mengindikasikan bahwa ketika siswa diberikan kebebasan untuk bereksperimen dan merancang solusi, kemampuan kognitif mereka berkembang lebih pesat dibandingkan dengan metode pengajaran konvensional yang kaku (Davidi et al., 2021; Fitriani et al., 2025; Nailinda et al., 2025).



Di sisi lain, dimensi sosial dari keterampilan 4C, yaitu kolaborasi dan komunikasi, terbukti memberikan dampak signifikan terhadap hasil belajar konseptual siswa. Sinergi antara keempat keterampilan ini mampu meningkatkan kesiapan peserta didik dalam menghadapi tantangan era digital. Temuan analisis menunjukkan bahwa model pembelajaran yang mengintegrasikan kerja kelompok dan presentasi ilmiah efektif meningkatkan kapasitas kolaborasi dan komunikasi siswa. Dalam proses ini, siswa belajar untuk menghargai perspektif yang beragam, membagi tugas secara adil, dan menyusun argumen yang koheren. Hasil penelitian juga menegaskan bahwa implementasi yang konsisten dari keterampilan 4C ini berkorelasi positif dengan peningkatan motivasi belajar dan pemahaman materi yang lebih mendalam, karena siswa merasa dilibatkan secara aktif dalam proses penemuan pengetahuan, bukan sekadar menjadi penerima informasi pasif (Oktafrizal et al., 2025; Tishana et al., 2023).

3. Analisis Keterampilan Berpikir Tingkat Tinggi (HOTS)

Hasil kajian mendalam mengenai *Higher Order Thinking Skills* (HOTS) menunjukkan bahwa kompetensi ini mencakup kapasitas kognitif untuk menganalisis, mengevaluasi, dan mencipta, yang menjadi indikator utama kualitas pembelajaran modern. Namun, data mengungkapkan adanya kesenjangan yang nyata antara tuntutan kurikulum dengan realitas di lapangan. Sebagian besar pendidik teridentifikasi masih mengalami hambatan signifikan dalam merancang instrumen soal maupun aktivitas pembelajaran yang benar-benar berorientasi HOTS. Banyak praktik pembelajaran yang masih terjebak pada level kognitif rendah, seperti mengingat dan memahami, sehingga siswa kurang terlatih untuk memproses informasi secara kritis. Ketidakkampuan merancang evaluasi yang tepat ini menyebabkan proses penilaian tidak mampu mengukur kemampuan berpikir siswa yang sebenarnya, yang pada akhirnya menghambat pengembangan potensi intelektual mereka secara optimal (Ilham & Hardiyanti, 2020; Wangsa et al., 2021).

Implikasi dari kurangnya paparan terhadap pembelajaran berbasis HOTS terlihat jelas pada kesulitan yang dialami siswa saat menghadapi soal-soal bertipe analisis dan evaluasi. Temuan menunjukkan bahwa siswa sekolah menengah sering kali gagal menyelesaikan masalah yang menuntut penalaran kompleks karena mereka terbiasa dengan pola pikir prosedural dan hafalan. Kesalahan konseptual dasar sering ditemukan, mengindikasikan bahwa fondasi pemahaman materi belum terbangun dengan kuat. Selain itu, tantangan juga terletak pada keterbatasan kompetensi pedagogik guru dalam memahami karakteristik instrumen penilaian berbasis HOTS. Tanpa intervensi yang tepat dalam bentuk pelatihan penyusunan soal dan strategi pengajaran tingkat tinggi, kesenjangan kemampuan berpikir siswa di Indonesia dengan standar global dikhawatirkan akan terus melebar, menghambat daya saing mereka di masa depan.

4. Integrasi Teknologi dan Pengetahuan Pedagogi (TPACK)

Dalam aspek teknologi, hasil penelitian menyoroti peran krusial *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) sebagai kerangka kerja yang mengintegrasikan pengetahuan konten, strategi pedagogi, dan pemanfaatan teknologi (Hermansah et al., 2024; Nugraha et al., 2025; Sukiastini et al., 2024). Meskipun kesadaran akan pentingnya teknologi dalam pendidikan cukup tinggi, tingkat kepercayaan diri pendidik dalam memfasilitasi keterampilan berpikir tingkat tinggi berbasis teknologi masih relatif rendah. Integrasi teknologi yang efektif ditemukan tidak sekadar tentang penggunaan perangkat keras atau aplikasi digital semata, melainkan bagaimana teknologi tersebut dapat mendukung pencapaian tujuan pembelajaran secara pedagogis. Banyak guru yang mampu menggunakan alat digital namun kesulitan menyelaraskannya dengan metode pengajaran yang memicu kekritisian siswa,



sehingga penggunaan teknologi sering kali berakhir hanya sebagai alat presentasi satu arah tanpa interaksi yang bermakna.

Analisis lebih lanjut mengenai kompetensi TPACK juga mengungkapkan fakta menarik terkait status sertifikasi guru. Data menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan dalam kemampuan integrasi teknologi antara guru yang sudah bersertifikasi dan yang belum. Hal ini mengindikasikan bahwa sertifikasi profesi belum sepenuhnya menjamin penguasaan literasi digital yang mumpuni dalam konteks pembelajaran. Guru non-sertifikasi bahkan dalam beberapa kasus menunjukkan kemampuan adaptasi teknologi yang sebanding atau lebih baik. Temuan ini menjadi sinyal bahwa penguasaan teknologi pembelajaran matematika dan sains lebih ditentukan oleh kemauan individu untuk belajar mandiri dan beradaptasi dengan perubahan zaman, daripada sekadar status administratif. Oleh karena itu, penguatan kompetensi TPACK harus menjadi fokus utama dalam setiap program pengembangan profesional guru, terlepas dari latar belakang sertifikasi mereka (Akhwani & Rahayu, 2021; Latip et al., 2023; Perdani & Andayani, 2022).

5. Tantangan Sistemik dan Hambatan Infrastruktur

Meskipun urgensi penerapan keterampilan abad ke-21 telah diakui, hasil sintesis penelitian mengungkap berbagai tantangan sistemik dan hambatan infrastruktur yang menghambat implementasinya. Dari sisi internal, kekakuan guru dalam menyusun Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) yang inovatif masih menjadi kendala utama. Banyak pendidik merasa terbebani dengan administrasi sehingga kurang memiliki waktu untuk merancang pembelajaran kreatif. Selain itu, keterbatasan keterampilan teknologi informasi (IT) di kalangan guru senior turut memperlambat transisi menuju pembelajaran digital. Faktor psikologis seperti resistensi terhadap perubahan metode mengajar juga teridentifikasi sebagai penghambat, di mana kenyamanan dengan metode ceramah konvensional sulit ditinggalkan meskipun terbukti kurang efektif untuk mengembangkan keterampilan 4C dan HOTS pada siswa (Aditya et al., 2021; Subroto et al., 2023).

Dari sisi eksternal, ketersediaan sarana dan prasarana pendukung menjadi isu krusial yang belum teratasi secara merata, terutama di daerah pedesaan. Keterbatasan akses internet yang stabil, minimnya ketersediaan media pembelajaran seperti proyektor LCD, dan kurangnya buku referensi terkini sangat mempengaruhi kualitas pembelajaran MIPA. Kesenjangan digital ini menciptakan disparitas kualitas pendidikan yang tajam antara sekolah di pusat kota dengan sekolah di daerah terpencil. Tanpa dukungan infrastruktur yang memadai, upaya guru untuk menerapkan pembelajaran berbasis teknologi dan riset menjadi sangat terbatas. Oleh karena itu, keberhasilan implementasi kurikulum baru sangat bergantung pada komitmen pemerintah dan pemangku kebijakan untuk menyediakan fasilitas yang setara serta dukungan sistemik yang memungkinkan guru berinovasi tanpa hambatan teknis yang berarti.

KESIMPULAN

Kajian ini menegaskan bahwa penguatan keterampilan abad ke-21 pada pendidik MIPA, yang mencakup keterampilan 4C, HOTS, dan TPACK, merupakan elemen fundamental dalam meningkatkan kualitas pembelajaran MIPA di era pendidikan modern. Pendidik MIPA yang memiliki kompetensi abad ke-21 dapat merancang pembelajaran yang student-centered, mendorong pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi, serta mengintegrasikan teknologi secara pedagogis dan kontekstual. Hasil sintesis riset menunjukkan masih terdapat kesenjangan antara tuntutan pembelajaran abad ke-21 dan kompetensi aktual pendidik, terutama dalam perancangan asesmen HOTS dan pemanfaatan teknologi pembelajaran. Tantangan utama meliputi keterbatasan kompetensi pendidik dalam merancang instrumen



penilaian berbasis HOTS, rendahnya kepercayaan diri dalam mengintegrasikan teknologi secara pedagogis, dan lemahnya pengalaman belajar yang melatih HOTS secara konsisten. Oleh karena itu, penguatan keterampilan abad ke-21 bagi pendidik MIPA menjadi kebutuhan strategis untuk mendukung implementasi Kurikulum Merdeka, penguatan Profil Pelajar Pancasila, serta peningkatan literasi sains dan matematika bagi peserta didik di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, B. R., Ferdiana, R., & Kusumawardani, S. S. (2021). Categories for barriers to digital transformation in higher education: An analysis based on literature. *International Journal of Information and Education Technology*, 11(12), 658. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2021.11.12.1578>
- Akhwani, A., & Rahayu, D. W. (2021). Analisis komponen TPACK guru SD sebagai kerangka kompetensi guru profesional di abad 21. *Jurnal Basicedu*, 5(4), 1918. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v5i4.1119>
- Davidi, E. I. N., Sennen, E., & Supardi, K. (2021). Integrasi pendekatan STEM (science, technology, enggeenering and mathematic) untuk peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa sekolah dasar. *Scholaria Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan*, 11(1), 11. <https://doi.org/10.24246/j.js.2021.v11.i1.p11-22>
- Dina, A. S. (2025). Systematic literature review: Strategi pembelajaran terintegrasi dengan STEAM (science, technology, engineering, art, mathematics) dan tantangannya. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA*, 5(2), 658. <https://doi.org/10.51878/science.v5i2.5162>
- Fitriani, V. A., Al-'Adawiyah, R., Anggreani, S. D. N., Ningrum, S. H., Estiyani, W., & Utomo, Y. (2025). Analisis kemampuan berpikir kreatif siswa kelas 5 melalui penggunaan media Palam pada pembelajaran IPAS. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA*, 5(1), 286. <https://doi.org/10.51878/science.v5i1.4561>
- Hermansah, I., Nasrulloh, I., & Kartini, A. (2024). Model technological pedagogical content knowledge dalam pembelajaran: Sebuah kajian literatur. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA*, 4(2), 105. <https://doi.org/10.51878/science.v4i2.3037>
- Ilham, M., & Hardiyanti, W. E. (2020). Pengembangan perangkat pembelajaran IPS dengan metode saintifik untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa materi globalisasi di sekolah dasar. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 7(1), 12. <https://doi.org/10.30659/pendas.7.1.12-29>
- Insani, Z. N., Azani, M. Z., & Mustofa, T. A. (2025). Implementasi pembelajaran Pendidikan Agama Islam dalam dimensi bernalar kritis melalui proyek pada Kurikulum Merdeka. *LEARNING Jurnal Inovasi Penelitian Pendidikan dan Pembelajaran*, 5(2), 620. <https://doi.org/10.51878/learning.v5i2.4859>
- Kusumasari, S., Patonah, S., & Sumarno, S. (2025). Pengembangan perangkat pembelajaran berbasis STEAM berorientasi ESD untuk meningkatkan kreativitas dan kemandirian siswa. *LEARNING Jurnal Inovasi Penelitian Pendidikan dan Pembelajaran*, 5(2), 609. <https://doi.org/10.51878/learning.v5i2.4860>
- Latip, A., Robandi, B., Amaliah, A., Khakim, R. R., & Fatonah, N. (2023). Technological pedagogical content knowledge (TPACK) framework for science teachers' comptences in facing global challenges and issues: A narrative literature review. *IJPTe International Journal of Pedagogy and Teacher Education*, 7(1), 45. <https://doi.org/10.20961/ijpte.v0i0.74699>



- Luon, M. A. P., Adur, M. F. P., Wonga, A. H. I., Tefi, S., & Dewa, E. (2025). Integrasi lomba cerdas cermat sebagai media peningkatan literasi matematika, IPA, dan Bahasa Inggris SMPK Adisucipto. *COMMUNITY Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(2), 561. <https://doi.org/10.51878/community.v5i2.7320>
- Monica, R., Ricky, Z., & Estuhono, E. (2021). Pengembangan modul IPA berbasis model research based learning pada keterampilan 4C siswa sekolah dasar. *EDUKATIF Jurnal Ilmu Pendidikan*, 3(6), 4470. <https://doi.org/10.31004/edukatif.v3i6.1470>
- Nailinda, V., Alim, J. A., & Sekarwinahyu, M. (2025). Implementasi pembelajaran STEM (science, technology, engineering, and mathematics) terhadap keterampilan berpikir kritis siswa sekolah dasar. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA*, 5(1), 363. <https://doi.org/10.51878/science.v5i1.4700>
- Nugraha, A. G., Siahaan, S. M., & Hartono, H. (2025). Mengintegrasikan teknologi website dalam sistem penyimpanan bahan ajar untuk pendidikan modern. *LEARNING Jurnal Inovasi Penelitian Pendidikan dan Pembelajaran*, 5(1), 337. <https://doi.org/10.51878/learning.v5i1.4150>
- Nurjannah, N. (2022). Tantangan pengembangan kurikulum dalam meningkatkan literasi digital serta pembentukan karakter peserta didik di Indonesia. *Jurnal Basicedu*, 6(4), 6844. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i4.3328>
- Oktafrizal, O. F., Alim, J. A., & Sekarwinahyu, M. (2025). Pengaruh model discovery learning berbantuan Quizizz dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan motivasi belajar matematis pada mata pelajaran matematika kelas VI SD. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA*, 5(1), 169. <https://doi.org/10.51878/science.v5i1.4507>
- Perdani, B. U. M., & Andayani, E. S. (2022). Pengaruh kemampuan technological pedagogical content knowledge (TPACK) terhadap kesiapan menjadi guru. *Jurnal Pendidikan Akuntansi Indonesia*, 19(2), 99. <https://doi.org/10.21831/jpai.v19i2.46021>
- Salsabila, A., Ramadhani, C., & Faizin, M. S. (2025). Berpikir induktif sebagai dasar kompetensi sikap kritis bagi peserta didik generasi millennial abad 21. *CENDEKIA Jurnal Ilmu Pengetahuan*, 5(1), 264. <https://doi.org/10.51878/cendekia.v5i1.4465>
- Sartini, S., & Mulyono, R. (2022). Analisis implementasi Kurikulum Merdeka Belajar untuk mempersiapkan pembelajaran abad 21. *Didaktik Jurnal Ilmiah PGSD STKIP Subang*, 8(2), 1348. <https://doi.org/10.36989/didaktik.v8i2.392>
- Sholikhah, N., & Subekti, H. (2025). Peningkatan keterampilan proses sains siswa SMP melalui penerapan model creative problem solving. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA*, 5(2), 702. <https://doi.org/10.51878/science.v5i2.5358>
- Suardika, I. G. (2023). Peningkatan keterampilan berpikir kritis dan keterampilan proses sains melalui penerapan model pembelajaran inkuiri terbimbing dalam pembelajaran biologi. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA*, 3(1), 74. <https://doi.org/10.51878/science.v3i1.2073>
- Subroto, D. E., Supriandi, Wirawan, R., & Rukmana, A. Y. (2023). Implementasi teknologi dalam pembelajaran di era digital: Tantangan dan peluang bagi dunia pendidikan di Indonesia. *Jurnal Pendidikan West Science*, 1(7), 473. <https://doi.org/10.58812/jpdws.v1i07.542>
- Sukiastini, I. G. A. N. K., Tika, I. N., & Artawan, P. (2024). Literature review: Integrasi model pembelajaran IPA dengan digitalisasi dan kearifan lokal untuk menghadapi tantangan di masa depan. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA*, 4(4), 318. <https://doi.org/10.51878/science.v4i4.3343>



- Supardi, S., Idris, A., Nurhayati, N., & Fauzi, A. (2025). Transformasi pendidikan era globalisasi: Inovasi kurikulum, teknologi, peran guru, dan fokus pengembangan potensi siswa. *SOCIAL Jurnal Inovasi Pendidikan IPS*, 5(1), 258. <https://doi.org/10.51878/social.v5i1.4890>
- Suyanto, J., Masykuri, M., & Sarwanto, S. (2020). Analisis kemampuan TPACK (technolgical, pedagogical, and content, knowledge) guru biologi SMA dalam menyusun perangkat pembelajaran materi sistem peredaran darah. *INKUIRI Jurnal Pendidikan IPA*, 9(1), 46. <https://doi.org/10.20961/inkuiri.v9i1.41381>
- Tishana, A., Alvendri, D., Pratama, A. J., Jalinus, N., & Abdullah, R. (2023). Filsafat konstruktivisme dalam mengembangkan calon pendidik pada implementasi Merdeka Belajar di sekolah kejuruan. *Journal on Education*, 5(2), 1855. <https://doi.org/10.31004/joe.v5i2.826>
- Wangsa, G. N. A. S., Dantes, N., & Suastra, I. W. (2021). Pengembangan instrumen kemampuan berpikir kritis dan hasil belajar IPA kelas V SD gugus IV Kecamatan Gerokgak. *PENDASI Jurnal Pendidikan Dasar Indonesia*, 5(1), 139. https://doi.org/10.23887/jurnal_pendas.v5i1.267
- Widana, I. W., & Septiari, K. L. (2021). Kemampuan berpikir kreatif dan hasil belajar matematika siswa menggunakan model pembelajaran project-based learning berbasis pendekatan STEM. *Jurnal Elemen*, 7(1), 209. <https://doi.org/10.29408/jel.v7i1.3031>
- Zaskia, A., Rahmawati, T. D., Aljanah, O. H., & Abdurrahmansyah, A. (2025). Era digital: Mampukah guru membentuk generasi masa depan? *CENDEKIA Jurnal Ilmu Pengetahuan*, 5(1), 460. <https://doi.org/10.51878/cendekia.v5i1.4657>