

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

MANAJEMEN PROGRAM PELATIHAN DIGITALISASI DAN KECERDASAN ARTIFISIAL DALAM MENINGKATKAN KOMPETENSI GURU MATEMATIKA DAN IPA

A. Landasan Filosofi

Penelitian ini didasari oleh aliran filsafat pendidikan konstruktivisme, Filosofi konstruktivisme menjadi salah satu pilar utama yang mendasari penelitian ini. Dalam konteks pembelajaran digital, konstruktivisme menekankan bahwa pengetahuan tidak dapat ditransfer secara pasif, melainkan harus dibangun secara aktif oleh setiap individu melalui interaksi dengan lingkungan dan pengalaman. Hal ini sangat relevan dengan program pelatihan digitalisasi guru, di mana setiap guru harus secara aktif membangun pemahaman mereka tentang teknologi digital dan kecerdasan artifisial (KA) melalui praktek langsung dan refleksi terhadap pengalaman mengajar. Konstruktivisme juga menekankan pentingnya konteks dalam pembelajaran, yang dalam penelitian ini tercermin dari upaya menyesuaikan program pelatihan dengan kondisi geografis, infrastruktur, dan budaya lokal Kabupaten Cianjur.

B. Landasan Sistem Nilai

Penelitian ini menggunakan enam nilai utama (Sanusi, 2017): teologis, etis, estetis, logis, fisik/fisiologis, dan teleologis.

1. Nilai Teologis

Dimensi nilai teologis, khususnya dalam perspektif Islam, menjadi fondasi spiritual yang sangat penting dalam penelitian ini. Islam memiliki pandangan yang sangat progresif terhadap ilmu pengetahuan dan teknologi, yang tercermin dalam berbagai ayat Al-Quran dan hadits Nabi Muhammad SAW. Allah SWT berfirman dalam QS. Al-Mujadilah (58:11):

دَرَجَاتِ الْعِلْمِ أُوتُوا وَالَّذِينَ آمَنُوا الَّذِينَ اللَّهُ يَرْفَعُ

"...Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat..."

Ayat ini menegaskan kedudukan mulia bagi mereka yang menuntut ilmu. Konsep "menuntut ilmu dari buaian hingga liang lahat" menjadi dasar filosofis yang mendorong program pelatihan guru ini. Para guru MIPA yang mengikuti pelatihan digitalisasi dan KA sebenarnya sedang mengamalkan perintah agama untuk terus belajar dan mengembangkan diri, tidak peduli berapa pun usia mereka.

Dalam konteks yang lebih luas, Islam mengajarkan bahwa setiap Muslim memiliki tanggung jawab untuk menjadi khalifah di muka bumi, sebagaimana firman Allah dalam QS. Al-Baqarah (2:30):

خَلِيفَةً الْأَرْضِ فِي جَاعِلٍ إِنِّي لِلْمَلَائِكَةِ رَبُّكَ قَالَ وَإِذْ

"Ingatlah ketika Tuhanmu berfirman kepada para malaikat: 'Sesungguhnya Aku hendak menjadikan seorang khalifah di muka bumi'..."

Tanggung jawab kekhalifahan ini salah satunya diwujudkan melalui pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk kemaslahatan umat. Program pelatihan digitalisasi guru MIPA ini dapat dipandang sebagai bentuk ibadah dalam arti luas, karena bertujuan meningkatkan kualitas pendidikan yang pada akhirnya akan berdampak pada pencerdasan bangsa. Guru-guru yang menguasai teknologi digital dan KA akan mampu menyampaikan ilmu pengetahuan dengan lebih efektif, sehingga siswa dapat memahami konsep-konsep MIPA dengan lebih baik.

Allah SWT juga mendorong manusia untuk menggunakan akal dan mengamati fenomena alam, sebagaimana dalam QS. Ali Imran (3:190-191):

﴿الْأَنْبَابِ لِأُولِي الْأَيْمَانِ وَالنَّهَارِ اللَّيْلِ وَالاخْتِلَافِ وَالْأَرْضِ السَّمَاوَاتِ خَلَقَ فِي إِنَّ

وَالْأَرْضِ السَّمَاوَاتِ خَلَقَ فِي وَيَتَفَكَّرُونَ جُنُوبِهِمْ وَعَلَى وَقُودًا قِيَامًا اللَّهُ يَذْكُرُونَ الَّذِينَ

"Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal, (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi..."

Ayat ini sangat relevan dengan pembelajaran MIPA yang memerlukan observasi, analisis, dan pemikiran kritis yang dapat diperkuat melalui teknologi digital.

Nilai tauhid dalam Islam juga mengajarkan pentingnya keseimbangan antara dunia dan akhirat, antara teknologi dan spiritualitas. Sebagaimana firman Allah dalam QS. Al-Qashash (28:77):

الدُّنْيَا مِنْ نَصِيْبِكَ تَنْسَ وَلَا تَنْسَ الْآخِرَةَ الدَّارَ الَّتِي أَتَاكَ فِيهَا وَابْتَغِ

"Dan carilah pada apa yang telah dianugerahkan Allah kepadamu (kebahagiaan) negeri akhirat, dan janganlah kamu melupakan bagianmu dari (kenikmatan) duniawi..."

Program pelatihan ini tidak hanya memfokuskan pada aspek teknis penggunaan teknologi, tetapi juga harus mempertimbangkan bagaimana teknologi tersebut dapat digunakan untuk memperkuat nilai-nilai moral dan spiritual dalam pembelajaran. Guru MIPA yang menguasai teknologi digital harus tetap menjadi teladan dalam hal akhlak dan spiritualitas, sehingga teknologi tidak menjadi tujuan dalam dirinya sendiri, melainkan alat untuk mencapai tujuan pendidikan yang lebih mulia.

Konsep ummatan wasathan (umat yang moderat) dalam Islam juga relevan dengan penelitian ini, sebagaimana dalam QS. Al-Baqarah (2:143):

وَسَطًا أُمَّةً جَعَلْنَاكُمْ وَكَذَلِكَ

"Dan demikian (pula) Kami telah menjadikan kamu (umat Islam) umat yang adil dan pilihan (ummatan wasathan)..."

Program pelatihan harus dirancang dengan pendekatan yang seimbang, tidak terlalu konservatif sehingga menolak teknologi, tetapi juga tidak terlalu liberal sehingga mengabaikan nilai-nilai fundamental. Guru-guru MIPA di Kabupaten Cianjur, yang sebagian besar beragama Islam, perlu memahami bahwa menguasai teknologi digital dan KA adalah bagian dari jihad intelektual yang sangat dianjurkan dalam Islam.

2. Nilai Etis

Dimensi nilai etis dalam penelitian ini mencakup berbagai aspek moral yang menjadi landasan penting dalam pelaksanaan program pelatihan digitalisasi guru MIPA. Keadilan menjadi prinsip etis utama yang harus dijunjung tinggi, terutama mengingat kondisi geografis Kabupaten Cianjur yang sangat beragam, mulai dari wilayah perkotaan yang memiliki infrastruktur memadai hingga daerah pedesaan terpencil dengan keterbatasan akses teknologi. Program pelatihan harus dirancang dengan mempertimbangkan prinsip keadilan distributif, sehingga setiap guru, tanpa memandang lokasi mengajar mereka, memiliki kesempatan yang sama untuk mengakses pelatihan berkualitas.

Tanggung jawab sosial menjadi nilai etis lainnya yang sangat relevan. Pemerintah Kabupaten Cianjur, melalui Dinas Pendidikan, Pemuda dan Olahraga, memiliki tanggung jawab moral untuk memastikan bahwa setiap rupiah yang diinvestasikan dalam program pelatihan ini memberikan manfaat yang optimal bagi peningkatan kualitas pendidikan. Hal ini tidak hanya menyangkut efisiensi penggunaan anggaran, tetapi juga akuntabilitas terhadap masyarakat yang telah mempercayakan pendidikan anak-anak mereka kepada institusi pendidikan.

Integritas dalam implementasi program menjadi aspek etis yang krusial. Seringkali, program-program pemerintah mengalami kegagalan bukan karena konsepnya yang buruk, melainkan karena

implementasi yang tidak konsisten dengan rencana awal. Penelitian ini menekankan pentingnya menjaga integritas dalam setiap tahap pelaksanaan, mulai dari perencanaan yang realistis, pengorganisasian yang efektif, pelaksanaan yang konsisten, hingga evaluasi yang jujur dan transparan.

Nilai etis juga mencakup aspek keberlanjutan program. Tidak etis jika program pelatihan hanya bersifat temporer atau sekedar memenuhi target administratif tanpa mempertimbangkan dampak jangka panjang. Program harus dirancang dengan visi jangka panjang yang mempertimbangkan kebutuhan guru dan siswa di masa depan. Hal ini juga berkaitan dengan tanggung jawab terhadap generasi mendatang, yang berhak mendapatkan pendidikan berkualitas yang mempersiapkan mereka menghadapi tantangan abad ke-21.

3. Nilai Estetis

Dimensi nilai estetis dalam konteks penelitian ini tidak hanya berkaitan dengan aspek keindahan visual, tetapi mencakup keseluruhan pengalaman pembelajaran yang harmonis dan menyenangkan. Integrasi teknologi digital dan KA dalam pembelajaran MIPA memiliki potensi besar untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih estetis dan menarik. Visualisasi konsep-konsep abstrak dalam matematika, simulasi eksperimen fisika yang berbahaya untuk dilakukan secara langsung, atau model tiga dimensi struktur molekul dalam kimia, semuanya dapat memberikan pengalaman estetis yang mendalam bagi siswa.

Keindahan dalam pembelajaran juga berkaitan dengan keseimbangan antara berbagai elemen pembelajaran. Program pelatihan guru harus mempertimbangkan bagaimana teknologi digital dapat diintegrasikan secara harmonis dengan metode pembelajaran tradisional, sehingga tidak terjadi dominasi teknologi yang menghilangkan aspek humanis dalam pendidikan. Guru yang telah

dilatih harus mampu menciptakan pembelajaran yang menggabungkan kecanggihan teknologi dengan kehangatan interaksi manusia.

Aspek estetis juga mencakup desain pembelajaran yang mempertimbangkan keberagaman gaya belajar siswa. Teknologi digital memungkinkan guru untuk menyajikan materi dalam berbagai format - visual, auditori, kinestetik - sehingga setiap siswa dapat belajar sesuai dengan gaya belajar mereka. Hal ini menciptakan keindahan tersendiri dalam proses pembelajaran, di mana setiap siswa merasa dihargai dan difasilitasi kebutuhan belajarnya.

Keselarasan antara teknologi modern dengan kearifan lokal juga menjadi aspek estetis yang penting. Kabupaten Cianjur memiliki kekayaan budaya dan kearifan lokal yang tidak boleh diabaikan dalam proses modernisasi pendidikan. Program pelatihan harus membantu guru mengintegrasikan teknologi dengan konteks lokal, sehingga pembelajaran tidak kehilangan identitas dan relevansi dengan kehidupan siswa sehari-hari.

4. Nilai Logis

Dimensi nilai logis menjadi tulang punggung metodologis dalam penelitian ini. Setiap tahap penelitian harus didasarkan pada logika yang sistematis dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Pemilihan pendekatan kualitatif dengan metode studi kasus bukan keputusan yang tidak berdasar, melainkan hasil pertimbangan logis berdasarkan karakteristik permasalahan yang akan dikaji. Fenomena manajemen program pelatihan digitalisasi guru MIPA memiliki kompleksitas yang memerlukan pemahaman mendalam dan kontekstual, yang lebih tepat didekati dengan metode kualitatif.

Logika sistem yang diterapkan dalam penelitian ini mencerminkan pemahaman bahwa program pelatihan adalah sebuah sistem yang kompleks dengan berbagai variabel yang saling berinteraksi. Input, proses, output, dan outcome tidak dapat dipahami secara terpisah, melainkan harus dipandang sebagai satu kesatuan yang

utuh. Pendekatan sistemik ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi berbagai faktor yang mempengaruhi keberhasilan program, mulai dari faktor individual guru, faktor organisasional sekolah, hingga faktor lingkungan yang lebih luas.

Rasionalitas dalam pengumpulan dan analisis data juga menjadi aspek penting dari nilai logis. Penggunaan triangulasi data, dengan menggabungkan wawancara mendalam, observasi langsung, dan studi dokumentasi yang merupakan strategi logis untuk meningkatkan validitas dan reliabilitas temuan penelitian. Setiap teknik pengumpulan data memiliki kelebihan dan keterbatasan masing-masing, sehingga kombinasi ketiganya dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif dan akurat.

Proses analisis data yang terdiri dari reduksi data, penyajian data, dan verifikasi juga mencerminkan alur berpikir yang logis dan sistematis. Data mentah yang diperoleh dari lapangan tidak dapat langsung dijadikan kesimpulan, melainkan harus melalui proses seleksi, organisasi, dan interpretasi yang cermat. Hal ini memastikan bahwa kesimpulan yang dihasilkan benar-benar berbasis pada evidensi empiris yang kuat.

5. Nilai Fisik dan Fisiologis

Dimensi nilai fisik dan fisiologis dalam penelitian ini berkaitan erat dengan kondisi material dan geografis yang mempengaruhi implementasi program pelatihan. Kabupaten Cianjur memiliki karakteristik geografis yang sangat beragam, mulai dari dataran tinggi dengan akses internet terbatas hingga daerah perkotaan dengan infrastruktur teknologi yang memadai. Kondisi fisik ini tidak dapat diabaikan dalam perancangan program pelatihan, karena akan sangat mempengaruhi efektivitas implementasi.

Aspek fisiologis juga mencakup pertimbangan terhadap kondisi fisik dan psikologis guru sebagai peserta pelatihan. Guru-guru MIPA di Kabupaten Cianjur memiliki rentang usia yang beragam, mulai dari

guru muda yang relatif familiar dengan teknologi hingga guru senior yang mungkin mengalami kesulitan adaptasi dengan teknologi baru. Program pelatihan harus dirancang dengan mempertimbangkan kemampuan adaptasi fisiologis dan psikologis yang berbeda-beda ini.

Ketersediaan sarana dan prasarana fisik juga menjadi faktor krusial yang harus dipertimbangkan. Tidak semua sekolah memiliki laboratorium komputer yang memadai, akses internet yang stabil, atau perangkat teknologi yang mendukung implementasi pembelajaran digital. Program pelatihan harus realistis dalam mempertimbangkan keterbatasan fisik ini dan memberikan alternatif solusi yang dapat diterapkan dalam berbagai kondisi infrastruktur.

Aspek ergonomi dalam penggunaan teknologi juga perlu dipertimbangkan. Guru-guru yang telah mengikuti pelatihan harus mampu menggunakan teknologi digital secara sehat dan berkelanjutan, tanpa mengalami kelelahan fisik yang berlebihan. Hal ini penting untuk memastikan bahwa integrasi teknologi dalam pembelajaran tidak justru menimbulkan masalah kesehatan bagi guru dan siswa.

6. Nilai Teleologis

Dimensi nilai teleologis berkaitan dengan tujuan akhir atau orientasi masa depan dari program pelatihan digitalisasi guru MIPA. Nilai ini menjadi sangat penting karena memberikan arah dan makna bagi seluruh aktivitas program. Tujuan jangka panjang yang ingin dicapai bukan hanya peningkatan kemampuan teknis guru dalam menggunakan teknologi, melainkan transformasi fundamental dalam cara pandang dan praktik pendidikan di Kabupaten Cianjur.

Visi untuk menciptakan generasi yang siap menghadapi tantangan abad ke-21 menjadi orientasi teleologis utama. Siswa-siswa SMP di Kabupaten Cianjur harus dipersiapkan untuk hidup dan bekerja dalam era yang didominasi oleh teknologi digital dan kecerdasan buatan. Mereka tidak cukup hanya menguasai konsep-konsep MIPA

secara teoritis, tetapi juga harus mampu mengaplikasikan pengetahuan tersebut dalam konteks teknologi modern.

Aspek teleologis juga mencakup visi untuk mengurangi kesenjangan digital antara daerah perkotaan dan pedesaan. Program pelatihan ini diharapkan dapat menjadi katalis untuk percepatan transformasi digital di seluruh wilayah Kabupaten Cianjur, sehingga siswa di daerah terpencil sekalipun memiliki kesempatan yang sama untuk mengakses pendidikan berkualitas yang berbasis teknologi.

Keberlanjutan program menjadi aspek teleologis yang krusial. Program pelatihan ini tidak boleh berhenti pada pencapaian target jangka pendek, melainkan harus mampu menciptakan sistem yang berkelanjutan dan terus berkembang. Guru-guru yang telah dilatih diharapkan dapat menjadi agen perubahan yang terus berinovasi dan berbagi pengetahuan dengan rekan-rekan mereka, sehingga tercipta komunitas guru MIPA digital yang solid dan produktif.

Orientasi masa depan juga mencakup antisipasi terhadap perkembangan teknologi yang sangat cepat. Program pelatihan harus membekali guru dengan kemampuan untuk terus belajar dan beradaptasi dengan teknologi baru, bukan hanya menguasai teknologi yang ada saat ini. Hal ini memerlukan pengembangan *mindset growth* yang memandang pembelajaran sebagai proses seumur hidup.

Integrasi keenam dimensi nilai ini menciptakan landasan yang kokoh dan komprehensif bagi penelitian tentang manajemen program pelatihan digitalisasi dan KA dalam meningkatkan kompetensi pedagogik bagi guru MIPA. Setiap dimensi memiliki peran penting dan saling memperkuat, sehingga penelitian ini tidak hanya menghasilkan temuan yang secara akademis valid, tetapi juga bermakna dan bermanfaat bagi pengembangan pendidikan di Indonesia, khususnya di daerah-daerah dengan karakteristik geografis dan demografis yang kompleks seperti Kabupaten Cianjur.

C. Landasan Teori/Konsep

1. Manajemen Program Pelatihan

a. Konsep Dasar Manajemen, Program, dan Pelatihan

Pemahaman terhadap konsep manajemen program pelatihan memerlukan penelaahan terhadap tiga komponen pembentuknya, yakni manajemen, program, dan pelatihan, yang secara integratif membentuk satu kesatuan konseptual dalam pengelolaan kegiatan pengembangan kompetensi guru.

Secara etimologis, istilah manajemen berasal dari kata *manage* yang bermakna mengelola, mengatur, dan mengendalikan (Robbins & Coulter, 2018). Terry (2016) merumuskan manajemen sebagai suatu proses yang terdiri atas perencanaan (*planning*), pengorganisasian (*organizing*), penggerakan (*actuating*), dan pengawasan (*controlling*) dalam rangka mencapai tujuan yang telah ditetapkan melalui pemanfaatan sumber daya secara efektif dan efisien. Sejalan dengan pandangan tersebut, Stoner, Freeman, dan Gilbert (2020) menegaskan bahwa manajemen merupakan proses merencanakan, mengorganisasikan, memimpin, dan mengendalikan pekerjaan anggota organisasi serta mendayagunakan seluruh sumber daya organisasi guna mencapai sasaran yang telah ditetapkan. Dalam perspektif manajemen kualitas, Deming (1986) memperkenalkan siklus PDCA (*Plan–Do–Check–Act*) sebagai kerangka dasar manajemen yang bersifat siklis dan berorientasi pada perbaikan berkelanjutan (*continuous improvement*). Lebih lanjut, Deming (1993) mengembangkan konsep *System of Profound Knowledge* yang mencakup empat komponen fundamental, yakni: apresiasi terhadap sistem (*appreciation for a system*), pemahaman terhadap variasi (*understanding variation*), teori pengetahuan (*theory of knowledge*), dan psikologi perubahan (*psychology*). Keempat komponen tersebut memberikan landasan epistemologis bagi pengelolaan program yang

tidak sekadar bersifat administratif, melainkan berorientasi pada transformasi sistem secara menyeluruh.

Adapun konsep program, menurut Arikunto dan Jabar (2018), merujuk pada rencana kegiatan yang disusun secara sistematis dan terencana untuk mencapai tujuan tertentu dalam kurun waktu yang telah ditetapkan. Dalam pengertian yang lebih luas, Jones (2017) merumuskan program sebagai sekumpulan aktivitas yang dirancang untuk mencapai sasaran-sasaran kebijakan tertentu dengan melibatkan sumber daya manusia, pendanaan, dan sarana pendukung. Sudjana (2010) menambahkan bahwa program merupakan kegiatan terencana yang mencakup komponen tujuan, isi, cara pelaksanaan, dan mekanisme penilaian yang dilaksanakan secara berkesinambungan oleh suatu organisasi. Dengan demikian, program berfungsi sebagai wadah operasional yang menerjemahkan kebijakan ke dalam kegiatan-kegiatan konkret dan terukur.

Sementara itu, pelatihan (*training*) didefinisikan oleh Noe (2020) sebagai upaya terencana yang dilakukan oleh organisasi guna memfasilitasi pembelajaran peserta terhadap kompetensi yang berkaitan dengan pekerjaan, meliputi aspek pengetahuan, keterampilan, dan perilaku. Dessler (2020) merumuskan pelatihan sebagai proses pengajaran keterampilan dasar yang dibutuhkan oleh seseorang untuk melaksanakan pekerjaannya secara efektif. Dalam konteks regulasi nasional, Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional mengkategorikan pelatihan sebagai bentuk pendidikan nonformal yang diselenggarakan bagi masyarakat yang memerlukan pengetahuan, keterampilan, dan sikap dalam rangka pengembangan profesi. Mengingat pelatihan bagi guru ditujukan kepada orang dewasa yang telah memiliki pengetahuan dan pengalaman profesional, Knowles (1980) melalui teori andragoginya menegaskan bahwa pembelajaran orang dewasa harus memperhatikan lima prinsip fundamental, yakni: kebutuhan untuk mengetahui (*need*

to know), konsep diri yang mandiri (*self-directed*), pengalaman sebagai sumber belajar (*experience as a resource*), kesiapan belajar yang terkait dengan peran sosial (*readiness to learn*), dan orientasi pada pemecahan masalah (*problem-centered orientation*).

Bertolak dari ketiga konsep tersebut, manajemen program pelatihan dalam penelitian ini dimaknai sebagai proses pengelolaan yang sistematis dan terstruktur terhadap seluruh aspek penyelenggaraan pelatihan—meliputi perencanaan, pelaksanaan, evaluasi, dan tindak lanjut—guna menjamin tercapainya tujuan peningkatan kapasitas, keterampilan, dan pengetahuan peserta secara optimal. Secara spesifik, konsep ini diarahkan pada pengelolaan pelatihan digitalisasi dan kecerdasan artifisial untuk meningkatkan kompetensi pedagogik guru Matematika dan IPA di Kabupaten Cianjur, yaitu suatu wilayah dengan kondisi geografis dan infrastruktur digital yang beragam sehingga memerlukan pendekatan pengelolaan yang adaptif, kontekstual, dan mengakomodasi heterogenitas kemampuan awal guru.

b. Landasan Teoretis Pengelolaan Program Pelatihan

Deming (1986) melalui siklus PDCA memberikan kerangka dasar bagi pengelolaan pelatihan yang berorientasi pada perbaikan berkelanjutan. Dalam konteks program pelatihan digitalisasi dan kecerdasan artifisial bagi guru MIPA di Kabupaten Cianjur, siklus tersebut dioperasionalkan sebagai berikut: tahap *Plan* dilaksanakan melalui analisis kebutuhan pelatihan dan identifikasi data kesenjangan kompetensi digital guru; tahap *Do* diwujudkan melalui pelaksanaan pelatihan dengan metode yang tepat dan terintegrasi kerangka TPACK; tahap *Check* diimplementasikan melalui evaluasi efektivitas program secara multi-level; dan tahap *Act* direalisasikan melalui standarisasi praktik baik serta perbaikan berkelanjutan berdasarkan temuan evaluasi. Pendekatan siklus ini menjamin bahwa pengelolaan

program pelatihan tidak bersifat linier, melainkan terus berkembang dan menyesuaikan dengan dinamika kebutuhan guru di lapangan.

Deming (1993) mengemukakan bahwa 94% permasalahan dalam organisasi disebabkan oleh kelemahan sistem manajemen, bukan oleh kesalahan individu. Implikasi pandangan ini terhadap penelitian yang dilakukan adalah bahwa apabila guru MIPA di Kabupaten Cianjur mengalami kesulitan dalam mengintegrasikan teknologi digital dan kecerdasan artifisial ke dalam pembelajaran, maka akar permasalahannya perlu ditelusuri pada sistem pengelolaan pelatihan yang belum memadai. Oleh karena itu, pengelolaan program pelatihan harus dirancang dengan mempertimbangkan empat komponen *profound knowledge* Deming, yakni: pemahaman sistem secara holistik, pengenalan terhadap variasi kemampuan peserta pelatihan, pembangunan teori pengetahuan melalui pembelajaran berkelanjutan, serta pemahaman terhadap psikologi perubahan dalam diri guru.

Bryk et al. (2015) mengembangkan konsep Deming ke dalam ranah pendidikan melalui pendekatan *improvement science* yang menekankan pentingnya perbaikan bertahap, terukur, dan berbasis bukti empiris. Dalam pengelolaan program pelatihan, pendekatan ini mengisyaratkan bahwa perubahan kecil yang terukur dan konsisten lebih efektif dibandingkan transformasi besar yang berisiko mengalami kegagalan. Pendekatan tersebut sangat relevan untuk diterapkan dalam program pelatihan digitalisasi dan kecerdasan artifisial bagi guru MIPA di Kabupaten Cianjur yang menghadapi keterbatasan infrastruktur dan heterogenitas kemampuan awal guru, sehingga strategi perbaikan bertahap dipandang lebih realistis dan berkelanjutan.

Darling-Hammond, Hyler, dan Gardner (2017) mengidentifikasi tujuh karakteristik program pengembangan profesional guru yang efektif, meliputi: (1) fokus pada konten yang

spesifik, (2) penerapan metode pembelajaran aktif, (3) dukungan terhadap kolaborasi antarguru, (4) pemanfaatan model praktik yang telah teruji, (5) penyediaan sistem *coaching* dan pendampingan ahli, (6) mekanisme umpan balik dan refleksi yang sistematis, serta (7) durasi program yang memadai. Ketujuh karakteristik tersebut harus diintegrasikan secara utuh dalam pengelolaan program pelatihan digitalisasi dan kecerdasan artifisial bagi guru MIPA agar program tidak sekadar bersifat seremonial-administratif, melainkan benar-benar mampu menghasilkan transformasi pada praktik mengajar guru.

Trust dan Whalen (2020) menemukan bahwa program pelatihan teknologi yang dikelola tanpa mekanisme tindak lanjut yang terstruktur cenderung gagal menghasilkan perubahan yang bermakna pada praktik mengajar guru. Fenomena kesenjangan (*gap*) antara partisipasi pelatihan dan implementasi di kelas merupakan permasalahan krusial yang perlu diantisipasi melalui sistem tindak lanjut yang sistematis. Dalam konteks pelatihan guru MIPA di Kabupaten Cianjur, sistem pendampingan pascapelatihan menjadi komponen kritis agar keterampilan digitalisasi dan kecerdasan artifisial yang diperoleh selama pelatihan dapat benar-benar diterapkan dalam pembelajaran sehari-hari.

Henriksen et al. (2023) menegaskan bahwa pengelolaan program pelatihan digital yang berkualitas harus mengintegrasikan tiga domain kerangka TPACK secara seimbang, yakni domain teknologi (*Technological Knowledge*), domain pedagogi (*Pedagogical Knowledge*), dan domain konten (*Content Knowledge*). Program pelatihan yang semata-mata berorientasi pada transfer penguasaan teknologi tanpa mengintegrasikan aspek pedagogis dan konten mata pelajaran akan menghasilkan guru yang mampu mengoperasikan perangkat digital namun tidak memiliki kapasitas untuk mentransformasi proses pembelajaran Matematika dan IPA. Oleh sebab itu, pengelolaan program pelatihan di Kabupaten Cianjur

harus memastikan bahwa kurikulum pelatihan dirancang dengan mengintegrasikan ketiga domain tersebut secara proporsional.

Celik et al. (2022) merekomendasikan agar pengelolaan program pelatihan kecerdasan artifisial bagi guru dirancang secara berjenjang, dimulai dari tahap literasi dasar hingga tahap aplikasi lanjutan. Setiap jenjang memiliki target kompetensi yang jelas dan terukur sehingga memungkinkan guru MIPA di Kabupaten Cianjur yang memiliki tingkat kemampuan awal yang bervariasi dapat berkembang secara progresif sesuai dengan kapasitas masing-masing.

Kirkpatrick dan Kirkpatrick (2016) menyediakan kerangka evaluasi empat level yang menjadi bagian integral dari pengelolaan program pelatihan, mencakup: (1) *Reaction* (mengukur respons dan kepuasan peserta terhadap penyelenggaraan program); (2) *Learning* (mengukur peningkatan pengetahuan, keterampilan), dan sikap peserta; (3) *Behavior* (mengukur perubahan perilaku dan praktik mengajar guru di kelas pascapelatihan); serta (4) *Results* (mengukur dampak program terhadap organisasi sekolah dan mutu pembelajaran MIPA secara keseluruhan). Sistem evaluasi empat level ini memungkinkan pengelola program untuk melakukan perbaikan secara berkelanjutan berdasarkan data empiris, bukan berdasarkan asumsi.

Sallis (2002) dalam mengadaptasi prinsip-prinsip manajemen kualitas Deming ke dalam konteks pendidikan menekankan lima pilar utama, yakni: kepemimpinan yang berkomitmen pada mutu, budaya kolaboratif antarwarga pendidikan, orientasi pada proses, pengambilan keputusan berbasis data, dan pemberdayaan peserta pelatihan. Kelima pilar tersebut menjadi landasan bagi perancangan sistem pengelolaan program pelatihan digitalisasi dan kecerdasan artifisial yang tidak hanya efektif dalam jangka pendek, tetapi juga berkelanjutan dalam jangka panjang bagi guru MIPA di Kabupaten Cianjur.

Berdasarkan integrasi berbagai perspektif teoretis sebagaimana telah diuraikan, pengelolaan program pelatihan digitalisasi dan kecerdasan artifisial dalam meningkatkan kompetensi guru Matematika dan IPA di Kabupaten Cianjur memerlukan pendekatan sistemik yang komprehensif. Pengelolaan program pelatihan tidak dapat dipandang sebagai serangkaian kegiatan yang berdiri sendiri, melainkan harus dirancang sebagai suatu sistem terintegrasi berbasis siklus PDCA, kerangka TPACK, dan pendekatan CBT serta berlandaskan 6 Sistem Nilai Sanusi (Sanusi, 2017), yang mencakup perencanaan berbasis data, pelaksanaan dengan metode yang tepat, evaluasi berkelanjutan, dan tindak lanjut yang sistematis. Hanya melalui pengelolaan program yang holistik, adaptif, dan berlandaskan nilai, transformasi digital dalam pendidikan Matematika dan IPA di Kabupaten Cianjur dapat terwujud secara bermakna dan memberikan dampak signifikan pada peningkatan kualitas pembelajaran.

2. Digitalisasi Pendidikan

Era Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0 telah menghadirkan transformasi fundamental dalam sistem pendidikan global, di mana teknologi digital tidak lagi sekadar menjadi alat bantu, melainkan katalis utama yang mengubah paradigma pembelajaran dari pendekatan konvensional menuju model yang lebih terbuka, kolaboratif, dan adaptif (UNESCO, 2023). Revolusi Industri 4.0 yang ditandai oleh konvergensi teknologi digital, otomatisasi, kecerdasan artifisial, dan *Internet of Things* mengubah secara radikal cara manusia bekerja, belajar, dan berinteraksi dalam kehidupan sehari-hari (Schwab, 2016). Sementara itu, konsep Society 5.0 yang diinisiasi Jepang merepresentasikan visi masyarakat masa depan yang memanfaatkan teknologi canggih tidak hanya untuk kemajuan ekonomi, tetapi juga untuk menyelesaikan berbagai masalah sosial dengan tetap menempatkan manusia sebagai pusat ekosistem digital (Fukuyama, 2018). Dalam konteks ini,

Darmawan (2013) dalam *Pendidikan Teknologi Informasi dan Komunikasi: Teori dan Aplikasi* menegaskan bahwa teknologi informasi dan komunikasi telah menjadi bagian integral dari sistem pendidikan modern yang berfungsi tidak hanya sebagai media, tetapi juga sebagai proses dan produk yang mengubah cara belajar secara fundamental.

a. Sistem Digitalisasi Pendidikan

Dalam konteks pendidikan, digitalisasi melampaui sekadar pengenalan perangkat teknologi di ruang kelas. Darmawan (2014) dalam *Inovasi Pendidikan: Pendekatan Praktik Teknologi Multimedia dan Pembelajaran Online* menegaskan bahwa inovasi pendidikan merupakan kebutuhan primer dalam konteks aplikasi ilmu teknologi pembelajaran, khususnya yang berbasis TIK, dan mencakup seluruh komponen yang saling terintegrasi dalam ekosistem pembelajaran digital. Secara sistemik, digitalisasi pendidikan mencakup empat komponen utama. *Pertama*, infrastruktur Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) yang meliputi perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), dan jaringan internet sebagai fondasi ekosistem pembelajaran digital. Darmawan (2013) menjelaskan bahwa teknologi dapat dipahami melalui tiga perspektif sebagai ide, sebagai proses, dan sebagai produk yang ketiganya saling melengkapi dalam membangun ekosistem digital pendidikan. Data Kementerian Komunikasi dan Informatika (2022) mengidentifikasi bahwa kesenjangan infrastruktur teknologi dan ketimpangan kompetensi digital guru merupakan dua hambatan struktural utama dalam transformasi digital pendidikan di Indonesia. *Kedua*, platform pembelajaran atau *Learning Management System* (LMS) seperti Google Classroom, Moodle, dan Rumah Belajar yang memungkinkan distribusi materi, penugasan, dan evaluasi secara terintegrasi (Kemendikbudristek, 2022). *Ketiga*, manajemen data pendidikan yang mendukung pengambilan keputusan berbasis data (*data-driven decision making*) dalam meningkatkan mutu proses pembelajaran.

Keempat, kebijakan digitalisasi berupa regulasi dan kerangka kebijakan pemerintah yang mendukung transformasi digital, termasuk program Merdeka Mengajar dan kerja sama dengan penyedia layanan teknologi pendidikan (Kemendikbudristek, 2022).

Transformasi digital dalam pendidikan membuka peluang luas dalam personalisasi pembelajaran, akses ke sumber belajar global, dan kolaborasi lintas geografis. Di sisi lain, transformasi ini juga menghadirkan tantangan serius terkait kesenjangan digital, kesiapan guru, dan ketimpangan infrastruktur teknologi antarwilayah (Selwyn, 2016).

b. Kurikulum Digital

Integrasi digitalisasi dalam kurikulum menuntut reorientasi tidak hanya pada konten, tetapi juga pada proses dan asesmen pembelajaran. Darmawan (2017) dalam *Teknologi Pembelajaran* menjelaskan bahwa teknologi pembelajaran mencakup kawasan perencanaan, pengembangan, pemanfaatan, pengelolaan, penelitian, dan penilaian yang kesemuanya ditujukan untuk merekayasa sumber belajar (*learning resource*) guna penyelesaian masalah belajar yang dihadapi peserta didik. Kurikulum digital mencakup tiga dimensi utama. *Pertama*, integrasi literasi digital dalam kurikulum, yaitu kemampuan siswa untuk mengakses, mengevaluasi, dan menggunakan informasi digital secara kritis dan etis yang diintegrasikan ke dalam seluruh mata pelajaran, bukan hanya pada mata pelajaran TIK. Darmawan (2013) menekankan pentingnya pemahaman dan pemaknaan terhadap konsep teknologi sebagai bagian tak terpisahkan dari proses pendidikan yang harus tercermin dalam desain kurikulum. *Kedua*, pembelajaran berbasis proyek digital, di mana siswa mengerjakan proyek-proyek autentik dengan memanfaatkan teknologi digital sebagai alat kolaborasi, kreasi, dan presentasi, sehingga mengembangkan kompetensi abad ke-21 seperti berpikir kritis, kreativitas, dan kemampuan komunikasi. *Ketiga*,

asesmen digital yang memungkinkan penilaian otomatis (*auto-grading*), umpan balik instan, dan analitik pembelajaran (*learning analytics*) untuk memantau perkembangan kompetensi siswa secara *real-time*.

c. Model Pembelajaran Digital

Perkembangan teknologi telah melahirkan berbagai model pembelajaran digital yang dapat diadopsi dalam konteks pendidikan MIPA. Darmawan (2016) dalam *Mobile Learning: Sebuah Aplikasi Teknologi Pembelajaran* menjelaskan bahwa peran teknologi informasi dan komunikasi sangat krusial dalam membentuk konsep pembelajaran modern, mulai dari mendesain dan memproduksi pembelajaran melalui multimedia mobile hingga perancangan animasi untuk pembelajaran multimedia. Model-model pembelajaran digital tersebut meliputi: (1) *e-learning*, yaitu pembelajaran daring penuh yang memungkinkan siswa mengakses bahan ajar secara *online* tanpa terbatas oleh waktu dan lokasi, yang oleh Darmawan (2014) ditegaskan sebagai salah satu wujud inovasi pendidikan berbasis TIK yang mampu mengatasi keterbatasan ruang dan waktu dalam pembelajaran; (2) *mobile learning*, yaitu pembelajaran melalui perangkat *mobile* yang memberikan fleksibilitas belajar kapan saja dan di mana saja, sebagaimana Darmawan (2016) secara komprehensif menjelaskan tahapan pengembangannya mulai dari perancangan hingga produksi konten multimedia *mobile*; (3) *blended learning*, yaitu pendekatan yang mengombinasikan pembelajaran tatap muka dengan pembelajaran daring untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih menyeluruh, fleksibel, dan interaktif (Staker & Horn, 2012); (4) *virtual learning*, yaitu kelas virtual sinkronus melalui platform seperti Zoom dan Google Meet yang memungkinkan interaksi langsung antara guru dan siswa secara *real-time*; (5) *augmented learning*, yaitu pemanfaatan teknologi *Augmented Reality* (AR) dalam pembelajaran yang mampu

meningkatkan kemampuan spasial, pemahaman konseptual, serta keterlibatan dan motivasi belajar siswa (Akçayır & Akçayır, 2017); (6) *hologram learning*, yaitu teknologi hologram 3D yang memungkinkan visualisasi objek tiga dimensi secara nyata di ruang kelas untuk memperkaya pengalaman belajar; (7) *Virtual Reality/Augmented Reality (VR/AR) learning*, yaitu teknologi realitas virtual dan *augmented* yang mampu memperkaya pengalaman belajar dan mempermudah visualisasi materi yang sulit dijelaskan secara konvensional (Merchant et al., 2014); serta (8) laboratorium virtual, yaitu simulasi eksperimen digital seperti PhET *Interactive Simulations* dan GeoGebra yang terbukti menjadi solusi inovatif untuk pembelajaran Matematika dan IPA dalam memvisualisasikan konsep-konsep abstrak dan mengatasi keterbatasan fasilitas praktikum fisik. Darmawan (2014) menekankan bahwa produk-produk berbasis teknologi multimedia dan pembelajaran *online* merupakan wujud nyata dari inovasi pendidikan yang berkarakter teknologi pembelajaran.

d. Bio-Komunikasi dan Pembelajaran Digital

Darmawan (2009) dalam *Komunikasi Pendidikan: Perspektif Bio-Komunikasi* memperkenalkan paradigma baru yang mengintegrasikan pemahaman biologi komunikasi (*biocommunication*) dalam proses pendidikan. Konsep ini menjelaskan bahwa proses belajar tidak terlepas dari mekanisme neurosains otak manusia, meliputi perilaku biologi komunikasi berdasarkan bagian spesifik otak, *frontal lobe* (berpikir, merencanakan), *temporal lobe* (memori, bahasa), *parietal lobe* (sensorik, spasial), *occipital lobe* (visual), dan *central lobe* (koordinasi), yang masing-masing memiliki peran dalam aktivitas mengamati, merasa, memahami, dan kecenderungan bertindak. Perspektif *bio-komunikasi* ini menjadi landasan penting dalam memahami bagaimana teknologi digital dan kecerdasan artifisial

dapat didesain untuk mengoptimalkan proses belajar siswa sesuai dengan cara kerja otak manusia, sehingga model pembelajaran digital yang dikembangkan tidak hanya berbasis pada kecanggihan teknologi semata, tetapi juga mempertimbangkan aspek neurologis dan psikologis peserta didik.

e. Digitalisasi dalam Pembelajaran MIPA dan Kerangka TPACK

Dalam pembelajaran Matematika dan IPA, digitalisasi memberikan dampak yang sangat signifikan karena kedua bidang ini menuntut pemahaman terhadap konsep-konsep abstrak, pelaksanaan eksperimen virtual, serta simulasi berbagai fenomena alam. Kehadiran teknologi seperti *Virtual Reality*, *Augmented Reality*, aplikasi simulasi, maupun platform pembelajaran adaptif berbasis kecerdasan artifisial mampu memperkaya pengalaman belajar siswa dan mempermudah visualisasi materi yang sulit dijelaskan secara konvensional (Akçayır & Akçayır, 2017; Merchant et al., 2014). Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penggunaan teknologi ini berkontribusi terhadap peningkatan pemahaman konseptual dan motivasi belajar siswa secara nyata. Seluruh potensi tersebut hanya dapat dioptimalkan apabila guru memiliki kapabilitas untuk mengintegrasikan teknologi secara tepat ke dalam proses pembelajaran. Hal ini menegaskan pentingnya kerangka kerja *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) seperti yang diperkenalkan oleh Punya Mishra dan Matthew J. Koehler (2006). Kerangka TPACK tidak hanya mengajak guru memahami teknologi, pedagogi, dan konten secara terpisah, tetapi juga mendorong guru untuk memadukan ketiganya secara harmonis. Sebagaimana ditegaskan oleh Mishra dan Koehler, TPACK merepresentasikan pemahaman menyeluruh tentang bagaimana mengajar dengan teknologi, di mana guru perlu mengetahui bagaimana teknologi dapat mengubah cara mengajar dan cara siswa belajar suatu konten, sehingga tercipta proses belajar yang lebih

bermakna, kreatif, serta relevan dengan kebutuhan peserta didik masa kini.

Berdasarkan berbagai temuan teoretis dan empiris di atas, dapat disimpulkan bahwa digitalisasi pendidikan di era Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0 hanya akan memberikan dampak positif dan transformatif jika didukung oleh peningkatan kapasitas guru secara menyeluruh, berkelanjutan, dan kontekstual. Guru perlu dilatih bukan hanya untuk menguasai teknologi sebagai alat, tetapi juga untuk memahami bagaimana mengintegrasikannya secara strategis, pedagogis, dan etis ke dalam desain pembelajaran yang berpusat pada siswa dan berorientasi pada pengembangan kompetensi abad ke-21. Temuan-temuan ini menjadi landasan penting bagi penelitian ini dalam mengkaji bagaimana manajemen program pelatihan digitalisasi dan kecerdasan artifisial yang berbasis siklus PDCA dapat meningkatkan kompetensi pedagogik digital guru MIPA di Kabupaten Cianjur.

3. Kecerdasan Artifisial Dalam Pembelajaran

Kecerdasan artifisial (KA) telah berkembang pesat dan kini menjadi bagian penting dalam transformasi pendidikan global. Kecerdasan artifisial tidak lagi dianggap sebagai teknologi masa depan, melainkan sudah mulai diterapkan dalam berbagai praktik pembelajaran pada umumnya. Menurut Russell dan Norvig (2020), kecerdasan artifisial dapat didefinisikan sebagai sistem komputasi yang mampu melakukan tugas-tugas yang biasanya memerlukan kecerdasan manusia, seperti pengenalan pola, pengambilan keputusan, dan pembelajaran dari pengalaman. Dalam konteks pendidikan, hal ini berarti sistem kecerdasan artifisial dapat memahami kebutuhan belajar siswa, menganalisis data pembelajaran, dan memberikan umpan balik yang disesuaikan dengan kondisi individual peserta didik. Darmawan et al. (2024) dalam *Dynamic of VCDLN Through Artificial Intelligence*

menjelaskan bahwa kecerdasan buatan telah menjadi fondasi baru dalam pengembangan ekosistem pendidikan digital, mencakup kompetensi guru digital, teknologi digitalisasi, hingga implementasi kecerdasan artifisial dalam komunitas belajar virtual.

a. Komponen Kecerdasan Artifisial

Kecerdasan artifisial terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi dalam mendukung proses pembelajaran. *Pertama, Machine Learning*, yaitu sistem yang mampu belajar dari data dan meningkatkan kinerjanya secara otomatis melalui pengalaman tanpa diprogram secara eksplisit, yang menjadi dasar bagi pengembangan sistem pembelajaran adaptif (Russell & Norvig, 2020). *Kedua, Deep Learning*, yaitu jaringan neural berlapis yang mampu memproses data dalam jumlah besar dan mengenali pola kompleks; Darmawan et al. (2025) dalam *Deep Learning Berdasarkan Analisis VCDLN-Bio Communication* menjelaskan secara mendalam landasan filosofis, teoretis, dan praktis dari *deep learning* dalam perspektif pedagogi, termasuk regulasi dan kebijakan pendidikan, hingga pengembangan *tools* untuk memfasilitasi *deep learning* dalam pembelajaran. *Ketiga, Natural Language Processing (NLP)*, yaitu teknologi yang memungkinkan mesin memahami dan menghasilkan bahasa manusia, sebagaimana diimplementasikan dalam ChatGPT dan Gemini yang kini mulai dimanfaatkan dalam konteks pendidikan. *Keempat, Computer Vision*, yaitu kemampuan mesin untuk mengenali dan menganalisis gambar serta video, yang dapat digunakan untuk penilaian visual dalam pembelajaran IPA. *Kelima, Robotik*, di mana Darmawan (2025) telah mengembangkan EduBot sebagai robot pintar berbasis kecerdasan artifisial yang dirancang sebagai asisten pembelajaran yang mampu berinteraksi layaknya manusia, meringankan tugas guru mulai dari penyampaian materi hingga pendampingan siswa, serta memperluas akses teknologi pendidikan hingga ke pelosok daerah. *Keenam, Neuroscience*

Networking, yaitu integrasi kecerdasan artifisial dengan pendekatan *biocommunication*. Darmawan (2009) dalam *Komunikasi Pendidikan: Perspektif Bio-Komunikasi* menjelaskan bahwa pendekatan *biocommunication* mengkaji kecepatan pemrosesan informasi pada bagian-bagian spesifik otak seperti *prefrontal lobe*, *frontal lobe*, *temporal lobe*, *parietal lobe*, *occipital lobe*, dan *central lobe*, baik pada hemisfer kiri maupun kanan, yang kesemuanya bekerja secara cepat ketika stimulus yang diterima oleh indra siswa diproduksi melalui praktik teknologi pembelajaran. Pendekatan *biocommunication* ini telah menjadi landasan bagi sejumlah produk teknologi pendidikan dan pembelajaran, meliputi *computer-based learning*, *machine learning*, *mobile learning*, *augmented learning*, *virtual reality learning*, *blended learning*, bahkan *virtual hologram learning*.

b. Aplikasi Kecerdasan Artifisial dalam Pembelajaran MIPA

UNESCO (2021) dalam publikasinya tentang *AI and Education* menekankan bahwa pemanfaatan kecerdasan artifisial dalam pendidikan telah berkembang dari sistem sederhana menuju sistem yang mampu melakukan analisis pembelajaran mendalam dan memberikan rekomendasi personalisasi berdasarkan data. Dalam pembelajaran MIPA, aplikasi kecerdasan artifisial mencakup beberapa bentuk implementasi. *Adaptive Learning* memungkinkan personalisasi pembelajaran sesuai kemampuan siswa, di mana sistem tutor berbasis kecerdasan artifisial dapat membantu siswa memahami konsep-konsep kompleks melalui bantuan bertahap yang disesuaikan dengan kecepatan belajar masing-masing individu (Kulik & Fletcher, 2016). *Intelligent Tutoring System* berfungsi sebagai tutor virtual berbasis kecerdasan artifisial yang dalam pembelajaran Matematika SMP dapat membantu siswa memahami konsep aljabar, geometri, dan statistika dengan memberikan latihan soal yang disesuaikan tingkat kesulitannya, mengidentifikasi miskonsepsi dalam operasi bilangan

atau pemecahan masalah, serta memberikan penjelasan langkah demi langkah untuk soal-soal yang menantang. *Auto-Grading* memungkinkan penilaian otomatis yang memberikan umpan balik langsung kepada siswa. *Learning Analytics* menyediakan analisis data pembelajaran untuk mendukung pengambilan keputusan pedagogis yang lebih tepat. *Virtual Lab* berupa laboratorium virtual seperti PhET dan GeoGebra memungkinkan visualisasi konsep abstrak seperti gerak, gaya, energi, dan gelombang melalui simulasi interaktif yang dapat dimanipulasi siswa.

c. Aspek Etika dan Inklusivitas Kecerdasan Artifisial

Holmes, Bialik, dan Fadel (2019) menekankan bahwa integrasi kecerdasan artifisial dalam pendidikan harus dilakukan dengan mempertimbangkan aspek etika, privasi data, dan keadilan akses. Mereka menyarankan agar implementasi kecerdasan artifisial dirancang sedemikian rupa sehingga tidak memperlebar kesenjangan pendidikan yang sudah ada, melainkan justru membantu menciptakan sistem pendidikan yang lebih inklusif dan adil. Hal ini sejalan dengan rekomendasi UNESCO (2021) yang menekankan bahwa pemanfaatan kecerdasan artifisial dalam pendidikan harus bersifat inklusif, etis, dan berkelanjutan, dengan tetap menempatkan guru sebagai fasilitator utama dalam proses pembelajaran. Darmawan et al. (2024) dalam *Dynamic of VCDLN Through Artificial Intelligence* turut membahas aspek kemitraan dengan industri teknologi dan peran penting kolaborasi dalam meningkatkan kecerdasan artifisial untuk pendidikan, termasuk tren global kecerdasan artifisial generatif dan implikasinya bagi industri digital pendidikan.

d. Pelatihan Sinkronus dan Asinkronus Berbasis Kecerdasan Artifisial

Keberhasilan implementasi kecerdasan artifisial dalam pendidikan sangat bergantung pada kesiapan guru, yang dapat dikembangkan melalui dua modalitas pelatihan. *Pelatihan sinkronus*

dilaksanakan secara *real-time* melalui platform seperti Zoom dan Google Meet, memungkinkan interaksi langsung antara narasumber dan peserta pelatihan untuk mendiskusikan implementasi kecerdasan artifisial dalam pembelajaran. *Pelatihan asinkronus* dilaksanakan secara fleksibel melalui video rekaman dan modul mandiri, memberikan kesempatan bagi guru untuk mempelajari materi sesuai kecepatan masing-masing. Darmawan et al. (2021) dalam *Komunitas Virtual Pembelajaran Digital Nusantara-TVUPI Multiplatform* menjelaskan bahwa kombinasi pelatihan sinkronus dan asinkronus melalui komunitas virtual dapat menjadi wadah kolaborasi guru lintas wilayah secara berkelanjutan dan efektif untuk pengembangan kompetensi kecerdasan artifisial.

Pengembangan dan implementasi kecerdasan artifisial dalam pembelajaran Matematika dan IPA di SMP memerlukan pendekatan yang menyeluruh dan sistematis. Pendekatan ini harus menggabungkan aspek teknis, pedagogis, etis, dan dukungan kelembagaan yang kuat, dengan mempertimbangkan perspektif *biocommunication* sebagaimana dikemukakan Darmawan (2009) bahwa seluruh produk rekayasa teknologi pendidikan pada akhirnya harus mampu memberikan referensi bagi pendidik dalam mendesain, mengimplementasikan, menilai, dan mengembangkan produk teknologi pendidikan berbasis pembelajaran digital secara lebih manusiawi.

4. Kompetensi Pedagogik Guru Digital

Kompetensi Kompetensi guru di era digital telah mengalami pergeseran paradigma yang fundamental. Guru tidak lagi hanya dituntut untuk menguasai materi pelajaran dan pedagogi tradisional, tetapi juga harus mampu mengintegrasikan teknologi digital secara efektif dalam pembelajaran. Perubahan ini memerlukan redefinisi kompetensi guru yang lebih komprehensif dan adaptif terhadap perkembangan zaman,

sekaligus menuntut adanya desain program pelatihan yang berorientasi pada pencapaian kompetensi nyata melalui pendekatan pelatihan berbasis kompetensi (*Competency-Based Training/CBT*), bukan sekadar pemenuhan jam pelatihan atau keikutsertaan formal semata. Darmawan et al. (2024) dalam *Dynamic of VCDLN Through Artificial Intelligence* secara eksplisit membahas kompetensi guru digital sebagai fondasi utama dalam pengembangan ekosistem pendidikan digital, menegaskan bahwa guru digital harus menguasai tidak hanya teknologi, tetapi juga memahami dinamika komunitas belajar virtual dan implementasi kecerdasan artifisial dalam praktik pembelajaran.

Menurut Permendikbudristek Nomor 28 Tahun 2020 tentang Standar Kompetensi Guru, terdapat empat kompetensi utama yang harus dimiliki guru: kompetensi pedagogik, kompetensi kepribadian, kompetensi sosial, dan kompetensi profesional. Di era digital, keempat kompetensi ini perlu diperluas dengan integrasi kemampuan teknologi. Kompetensi pedagogik harus mencakup kemampuan merancang pembelajaran digital, kompetensi profesional harus meliputi penguasaan teknologi pembelajaran, kompetensi sosial harus mencakup kemampuan berkolaborasi dalam ruang digital, dan kompetensi kepribadian harus mencerminkan sikap positif terhadap inovasi teknologi. Dalam kerangka CBT, keempat kompetensi ini diterjemahkan menjadi unit-unit kompetensi yang spesifik dan terukur, sehingga penguasaan kompetensi guru tidak hanya dinilai melalui teori, tetapi melalui unjuk kerja yang dapat diamati dalam praktik pembelajaran di kelas.

Konsep TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) yang dikembangkan oleh Punya Mishra dan Matthew J. Koehler (2006) telah menjadi kerangka rujukan utama dalam memahami kompetensi guru di era digital. TPACK mengintegrasikan tiga domain pengetahuan yang saling terkait: Pengetahuan Teknologi (TK), Pengetahuan Pedagogi (PK), dan Pengetahuan Konten (CK). Guru Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang kompeten di era digital harus mampu

memadukan ketiga domain ini secara harmonis. Dalam perspektif pelatihan berbasis kompetensi, TPACK tidak lagi dipahami hanya sebagai kerangka konseptual, tetapi dioperasionalkan menjadi standar kompetensi yang dirumuskan ke dalam capaian pembelajaran (*learning outcomes*) dan indikator unjuk kerja yang jelas dalam program pelatihan.

Pengetahuan Teknologi (TK) mencakup pemahaman tentang berbagai perangkat digital, aplikasi pembelajaran, platform daring, dan kemampuan *troubleshooting* dasar. Untuk guru MIPA, ini berarti menguasai aplikasi simulasi seperti PhET, GeoGebra untuk Matematika, *virtual lab* untuk IPA, serta platform pembelajaran seperti Google Classroom atau Microsoft Teams. Darmawan (2017) dalam *Teknologi Pembelajaran* menegaskan bahwa penguasaan teknologi pembelajaran mencakup kawasan perencanaan, pengembangan, pemanfaatan, pengelolaan, dan penilaian yang harus dikuasai guru secara holistik. Melalui pendekatan CBT, penguasaan TK ini dijadikan satu unit kompetensi yang dinilai melalui bukti konkret, seperti kemampuan guru merancang dan menggunakan simulasi digital dalam RPP dan pelaksanaan pembelajaran.

Pengetahuan Pedagogi Teknologi (TPK) merupakan pemahaman tentang bagaimana teknologi dapat mengubah cara mengajar dan belajar. Guru harus memahami bahwa teknologi bukan sekadar alat pengganti papan tulis, tetapi dapat mentransformasi pembelajaran menjadi lebih interaktif, personal, dan saling berkaitan. Darmawan (2014) dalam *Inovasi Pendidikan* menekankan bahwa inovasi pendidikan berbasis TIK harus berorientasi pada perubahan praktik pembelajaran, bukan sekadar adopsi perangkat teknologi. Dalam kerangka CBT, kemampuan merancang dan mengelola aktivitas pembelajaran berbasis teknologi ini dijadikan indikator unjuk kerja yang harus ditunjukkan guru melalui praktik mengajar yang diobservasi, portofolio perangkat ajar, maupun rekaman pembelajaran.

Pengetahuan Konten Teknologi (TCK) khususnya penting untuk guru MIPA. Mereka harus memahami bagaimana teknologi dapat merepresentasikan konsep-konsep abstrak dalam Matematika dan fenomena alam dalam IPA. *Virtual Reality* dapat membawa siswa "menjelajahi" sistem tata surya, simulasi dapat menunjukkan perubahan grafik fungsi matematika secara dinamis, dan *Augmented Reality* dapat memvisualisasikan struktur molekul dalam tiga dimensi. Darmawan (2016) dalam *Mobile Learning* menjelaskan bahwa peran teknologi sangat krusial dalam mengkonkretkan konsep-konsep abstrak melalui multimedia *mobile* dan animasi pembelajaran. Dalam desain pelatihan berbasis kompetensi, kemampuan memilih, menilai kesesuaian, dan mengimplementasikan teknologi-teknologi tersebut untuk menjelaskan konten MIPA menjadi unit kompetensi tersendiri.

Redecker (2017) dalam *European Framework for the Digital Competence of Educators* (DigCompEdu) mengidentifikasi enam area kompetensi digital guru: keterlibatan profesional, sumber daya digital, pengajaran dan pembelajaran digital, penilaian digital, pemberdayaan peserta didik, dan fasilitasi kompetensi digital peserta didik. Kerangka ini dapat disejajarkan dengan prinsip CBT karena setiap area kompetensi dapat dipecah menjadi indikator-indikator operasional yang kemudian dirumuskan menjadi unit kompetensi pelatihan. Keterlibatan profesional mencakup kemampuan guru untuk menggunakan teknologi dalam komunikasi organisasional, kolaborasi profesional, dan pengembangan profesional berkelanjutan digital. Darmawan et al. (2021) dalam *Komunitas Virtual Pembelajaran Digital Nusantara* menunjukkan bahwa komunitas virtual dapat menjadi wadah pengembangan keterlibatan profesional guru secara berkelanjutan dan lintas wilayah. Dalam kerangka CBT, keterlibatan profesional ini dijadikan sasaran kompetensi dengan bukti kinerja seperti keikutsertaan aktif dalam komunitas praktik, publikasi praktik baik, atau kontribusi dalam forum digital.

Dalam pengelolaan sumber daya digital, guru harus mampu memilih, membuat, memodifikasi, dan mengelola konten digital, termasuk kemampuan kurasi konten dan menciptakan materi pembelajaran digital yang sesuai dengan kebutuhan siswa. Guru MIPA perlu mampu membuat video eksperimen, animasi konsep abstrak, atau infografis yang menarik. Darmawan (2013) dalam *Pendidikan Teknologi Informasi dan Komunikasi: Teori dan Aplikasi* menjelaskan bahwa pengelolaan konten digital harus dipahami dari tiga perspektif: sebagai ide, sebagai proses, dan sebagai produk yang ketiganya saling melengkapi dalam menciptakan materi pembelajaran yang berkualitas. Pelatihan berbasis kompetensi menjadikan kemampuan ini sebagai bagian dari asesmen portofolio, di mana guru dinilai berdasarkan kualitas materi digital yang dikembangkan dan relevansinya dengan tujuan pembelajaran.

Dalam konteks Indonesia, Suryawati et al. (2024) mengembangkan model MOST yang menekankan pentingnya *mentoring* dalam pengembangan kompetensi digital guru. Model ini mengakui bahwa kompetensi digital tidak dapat dikembangkan secara instan melalui pelatihan singkat, tetapi memerlukan proses berkelanjutan dengan dukungan mentor yang kompeten. Kombinasi MOST dan CBT menjadikan proses pelatihan tidak hanya berorientasi pada penguasaan materi pelatihan, tetapi juga pada pendampingan guru sampai mereka benar-benar menunjukkan unjuk kerja kompeten di kelas. UNESCO (2018) dalam *ICT Competency Framework for Teachers* menekankan bahwa kompetensi digital guru harus berkembang melalui tiga tahap: literasi teknologi dasar, pendalaman pengetahuan, dan penciptaan pengetahuan, yang sangat selaras dengan pendekatan CBT karena memungkinkan asesmen berjenjang pada tiap level.

Kompetensi dalam kecerdasan artifisial menjadi semakin penting. Holmes et al. (2022) mengidentifikasi bahwa guru perlu memahami dasar-dasar kecerdasan artifisial, potensi dan keterbatasannya dalam

pendidikan, serta implikasi etis penggunaannya. Guru tidak perlu menjadi *programmer* kecerdasan artifisial, tetapi harus memiliki literasi kecerdasan artifisial yang cukup untuk memanfaatkan *tools* berbasis kecerdasan artifisial secara bijaksana dan kritis. Darmawan (2009) dalam *Komunikasi Pendidikan: Perspektif Bio-Komunikasi* menambahkan bahwa pemahaman terhadap proses biologis komunikasi otak manusia meliputi *prefrontal lobe*, *frontal lobe*, *temporal lobe*, *parietal lobe*, *occipital lobe*, dan *central lobe* menjadi dasar penting bagi guru dalam memahami bagaimana kecerdasan artifisial bekerja dan mengoptimalkan stimulus pembelajaran yang sesuai dengan mekanisme neurosains peserta didik. Dalam kerangka pelatihan berbasis kompetensi, literasi kecerdasan artifisial dan pemahaman *biocommunication* ini dirumuskan menjadi unit kompetensi yang dinilai melalui kemampuan guru memilih aplikasi kecerdasan artifisial yang sesuai, merancang aktivitas pembelajaran yang memanfaatkannya secara etis, serta merefleksikan dampak penggunaannya terhadap proses dan hasil belajar siswa.

Selain kompetensi teknis, keterampilan lunak digital juga penting, mencakup kemampuan berpikir kritis terhadap informasi digital, kewarganegaraan digital, kemampuan beradaptasi dengan perubahan teknologi yang cepat, serta pola pikir bertumbuh terhadap pembelajaran teknologi baru. Guru harus menjadi teladan literasi digital bagi siswa. Pelatihan berbasis kompetensi memungkinkan keterampilan lunak ini dinilai melalui indikator sikap dan perilaku dalam praktik, misalnya melalui penilaian sejawat (*peer assessment*), observasi *mentoring*, dan refleksi tertulis.

Berdasarkan berbagai kerangka dan penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa kompetensi guru di era digital bersifat multidimensional dan dinamis. Guru MIPA tidak cukup hanya menguasai teknologi, tetapi harus mampu mengintegrasikannya dengan pedagogi dan konten mata pelajaran untuk menciptakan pembelajaran yang transformatif. Pengembangan kompetensi ini memerlukan proses

berkelanjutan dengan dukungan sistemik dari berbagai pihak, dan akan menjadi lebih terarah serta terukur apabila dikelola dalam kerangka pelatihan berbasis kompetensi yang merumuskan standar kompetensi secara jelas, memfokuskan proses pada unjuk kerja nyata, serta mengintegrasikan *mentoring* dan evaluasi berkelanjutan. Hanya dengan kompetensi digital yang memadai dan didukung sistem pelatihan berbasis kompetensi yang kuat, guru dapat mempersiapkan siswa menghadapi tantangan abad ke-21 dan era Society 5.0

D. Landasan Kebijakan

Pelaksanaan Pelaksanaan program pelatihan digitalisasi dan kecerdasan artifisial bagi guru mata pelajaran Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) di Kabupaten Cianjur memiliki pijakan kebijakan yang kuat, komprehensif, dan selaras dengan arah transformasi pendidikan nasional. Program ini tidak hanya merefleksikan komitmen pemerintah dalam meningkatkan kapasitas guru di era digital, tetapi juga mencerminkan upaya sistemik dalam mendorong pemerataan akses terhadap pendidikan bermutu berbasis teknologi di seluruh wilayah Indonesia, termasuk daerah dengan tantangan geografis seperti Cianjur.

Salah satu dasar utama yang melandasi program ini adalah Strategi Nasional Literasi Digital yang dirancang sebagai respons terhadap perkembangan teknologi global. Strategi ini menggarisbawahi pentingnya literasi digital sebagai kompetensi dasar yang harus dimiliki oleh seluruh warga negara, termasuk para pendidik. Guru diposisikan sebagai agen perubahan utama yang tidak hanya dituntut untuk menguasai perangkat digital dan aplikasi pembelajaran, tetapi juga untuk menjadi teladan dalam penerapan teknologi yang kritis, etis, dan produktif di lingkungan pendidikan.

Permendikbudristek Nomor 16 Tahun 2022 tentang Standar Proses pada Pendidikan Anak Usia Dini, Jenjang Pendidikan Dasar, dan Jenjang Pendidikan Menengah menegaskan pentingnya integrasi teknologi

informasi dan komunikasi (TIK) secara sistematis dalam proses pembelajaran. Dalam konteks pembelajaran MIPA yang sarat dengan konsep-konsep abstrak, visualisasi, dan eksperimen berbasis data, pemanfaatan teknologi menjadi sangat esensial untuk mendukung pemahaman konsep secara optimal.

Permendikbudristek Nomor 7 Tahun 2022 tentang Struktur Kurikulum pada Satuan Pendidikan, yang menjadi kerangka Kurikulum Merdeka, memberikan keleluasaan kepada guru untuk berinovasi dalam proses pembelajaran. Kurikulum ini menuntut pengembangan pembelajaran yang kontekstual dan adaptif terhadap kebutuhan peserta didik, serta membuka peluang luas untuk eksplorasi penggunaan teknologi dan kecerdasan artifisial dalam pembelajaran. Hal ini sejalan dengan upaya membentuk Profil Pelajar Pancasila, yang menekankan penguatan karakter, kemandirian, kemampuan berpikir kritis, serta adaptasi terhadap perubahan zaman.

Permendikbudristek Nomor 56/M/2022 tentang Pedoman Penerapan Kurikulum dalam Rangka Pemulihan Pembelajaran memberikan momentum strategis untuk mempercepat integrasi teknologi dalam pendidikan, khususnya sebagai hasil evaluasi dari proses pembelajaran selama masa pandemi COVID-19. Peraturan ini menegaskan bahwa penggunaan platform digital dalam pembelajaran tidak lagi bersifat sementara, melainkan harus menjadi bagian permanen dari ekosistem pendidikan yang modern dan berkelanjutan.

Komitmen pemerintah terhadap percepatan transformasi digital dalam pendidikan juga ditegaskan melalui Surat Edaran Mendikbudristek Nomor 1 Tahun 2023, yang mendorong seluruh satuan pendidikan untuk segera mengadopsi teknologi dalam kegiatan belajar mengajar. Surat edaran ini sekaligus menginstruksikan perlunya pelatihan berkelanjutan bagi guru agar mereka mampu mengikuti dinamika perkembangan teknologi, termasuk pemanfaatan kecerdasan artifisial yang semakin pesat.

Pada tingkat Rencana Strategis Kemendikbudristek 2020–2024 menempatkan transformasi digital sebagai pengungkit pemerataan mutu, relevansi pendidikan dengan kebutuhan dunia kerja dan industri, serta daya saing nasional. Arah tersebut kemudian dipertegas dalam Renstra Kemendikdasmen 2025–2029 yang menempatkan digitalisasi sebagai pilar utama transformasi satuan pendidikan. Prioritasnya mencakup penguatan kurikulum STEM berbasis teknologi dengan integrasi bertahap materi koding dan kecerdasan artifisial pengembangan layanan digital terintegrasi melalui portal yang menyatukan data dan layanan pembelajaran, serta revitalisasi fisik-digital satuan pendidikan melalui penguatan konektivitas dan pengembangan ruang kelas cerdas. Keseluruhan agenda ini menempatkan guru matematika dan IPA sebagai ujung tombak penerapan pedagogi berbasis data dan teknologi.

Selain kerangka regulasi di atas, pelaksanaan pelatihan digitalisasi guru juga memperoleh dukungan teknis dari berbagai pedoman dan panduan operasional yang disusun oleh Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan (GTK). Dokumen-dokumen ini meliputi standar kompetensi digital guru, desain pelatihan berbasis kebutuhan nyata di lapangan, metode pelatihan yang interaktif, sistem evaluasi yang komprehensif, serta mekanisme pendampingan pasca pelatihan. Keseluruhan elemen tersebut dirancang untuk memastikan bahwa pelatihan dapat diimplementasikan secara efektif, berkelanjutan, dan berdampak nyata pada praktik pembelajaran di sekolah.

E. Penelitian Terdahulu yang Relevan

Berikut adalah tabel penelitian terdahulu yang relevan dalam mendukung Manajemen Program Pelatihan Digitalisasi dan Kecerdasan Artifisial Dalam Meningkatkan Kompetensi Guru Matematika dan IPA di jenjang SMP.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti & Tahun	Judul / Topik	Temuan Utama
1	Duan et al., 2024 (IRRODL)	<i>Effects of Educational AI-Powered Technologies on Teachers' Autonomy, Digital Burnout, and PD</i>	Pengembangan profesional berorientasi KA meningkatkan otonomi guru dan menurunkan digital burnout; perlunya desain pengembangan profesional yang suportif.
2	Karataş et al., 2024 (IRRODL)	<i>Preservice Teachers' Experiences and Perceptions of AI in Education</i>	Calon guru menilai KA bermanfaat, namun memerlukan pedoman etika dan praktik nyata.
3	Suryawati et al., 2024 (Frontiers in Education)	MOST Model untuk pengembangan profesional berkelanjutan	Model Mentor–Observe–Support–Take action efektif membangun literasi, efikasi diri, dan TPK/TPACK guru.
4	Chang et al., 2024/2025 (Education & Information Technologies)	<i>Pre-service teacher professional education program (PPG) and Indonesian science teachers' TPACK development: A career-path comparative study</i>	PPG meningkatkan TPACK; perlu alat ukur dan intervensi konsisten.
5	Rahmawati et al., 2024 (IJERE)	<i>Teachers' Digital Literacy Overview in Secondary School (SLR)</i>	Literasi digital guru umumnya menengah; training program paling direkomendasikan untuk peningkatan.
6	UNESCO, 2023 (GEM Report – SEA)	<i>Technology in Education: Southeast Asia</i>	Kesenjangan infrastruktur & kapasitas; pentingnya tata kelola transformasi digital.
7	SEAMEO STEM-ED, 2024	<i>Southeast Asia STEM Education Landscape Study</i>	Peta ekosistem STEM regional; PD guru jadi fokus prioritas.
8	Hidajat et al., 2024 (ScienceDirect)	<i>Effectiveness of VR for Students' Mathematical Creativity</i>	VR meningkatkan kreativitas matematika siswa; mendukung media imersif.

9	Gayed et al., 2025 (Cogent Education)	<i>Educators' Perspective on AI</i>	Sikap positif terhadap KA, menuntut kerangka etika & pelatihan yang jelas.
10	Mukred et al., 2024 (Heliyon)	<i>Adoption of Learning Analytics Tools</i>	Faktor pendorong/penghambat adopsi analisis pembelajaran; perlunya capacity building & dukungan institusi.
11	Al-Zahrani, 2024 (Nature HSS Communications)	<i>AI in Education—Policy & Practice</i>	Praktik & kebijakan KA terintegrasi; pentingnya kerangka nasional & pengembangan profesional.
12	Khasanah et al., 2025 (UNY – JSER)	<i>Analysis of Pre-service Science Teachers' TPACK</i>	TK & TCK tinggi; TPACK kategori sedang; disarankan pelacakan longitudinal.
13	Latip et al., 2024 (Jurnal Pendidikan MIPA)	Kompetensi TPACK Guru IPA dalam Pembelajaran di Kelas: <i>A Systematic Literatur Review</i>	Variasi level TPACK (kurang–sangat baik); perlu program terencana untuk integrasi.
14	Yanti & Riandi, 2019 (UPI – WaPfi)	TPACK Guru IPA untuk identifikasi CK topik Pemanasan Global (SMP)	CK guru kategori sedang; instrumen CoRe efektif memetakan konsep & miskonsepsi.
15	Murniati et al., 2024 (Atlantis Press)	<i>Exploring the Integration of AI in K-12 (Indonesia)</i>	Integrasi AI di sekolah belum merata; perlu pedoman, kebijakan, dan pelatihan.
16	Ikhsan, 2025 (JIIP)	Analisis Penggunaan AI di Kelas IX SMPN 8 Palangka Raya	AI mendukung tugas belajar & berpikir kritis; butuh kesiapan teknis/etika sekolah.
17	Fitriana et al., 2024 (I-COM)	Pelatihan Penggunaan Platform Merdeka Mengajar (PMM) untuk Guru	Pelatihan meningkatkan keterampilan digital & pemanfaatan PMM.
18	Setyawati, 2025 (Kurikula)	Kesiapan Guru dalam Penerapan AI (Studi Biologi)	Hambatan akses TIK & kompetensi; rekomendasi pelatihan berkelanjutan.
19	Utami et al., 2025 (UPI – Asimilasi)	Pengembangan Booklet TPACK Biologi	Booklet TPACK valid & praktis sebagai bahan pengembangan kompetensi.

20	Syahidi, 2024 (Unram – GeoScienceEdu)	TPACK sebagai Kerangka Pengetahuan Guru Abad 21 dalam IPA	Menegaskan TPACK sebagai kerangka kunci integrasi teknologi dalam IPA.
----	---	--	---

Berbagai Berdasarkan tabel penelitian terdahulu, terdapat keterkaitan yang kuat antara berbagai studi dengan penelitian mengenai manajemen program pelatihan digitalisasi dan kecerdasan artifisial (KA) dalam meningkatkan kompetensi guru Matematika dan IPA di jenjang SMP. Relevansi tersebut tampak pada penguatan kerangka TPACK, desain pengembangan profesional berkelanjutan, kebutuhan literasi digital dan etika KA, serta pentingnya dukungan kebijakan dan infrastruktur di tingkat institusi maupun sistem pendidikan.

Penelitian Duan et al. (2024) menunjukkan bahwa pemanfaatan aplikasi pembelajaran kecerdasan artifisial (KA) berdampak positif pada otonomi guru, pengembangan profesional, dan penurunan *digital burnout*, sehingga menegaskan perlunya komponen dukungan kesejahteraan dalam desain pelatihan. Temuan ini sejalan dengan Suryawati et al. (2024) yang menawarkan Model MOST (*Mentor–Observe–Support–Take action*) sebagai skema coaching/mentoring pascapelatihan yang efektif dalam memperkuat literasi, efikasi diri, dan TPK/TPACK guru. Dengan demikian, program pelatihan digitalisasi dan KA perlu dirancang tidak hanya berfokus pada peningkatan keterampilan teknis, tetapi juga mengintegrasikan mekanisme pendampingan berkelanjutan dan dukungan psikologis guru.

Sejumlah penelitian menegaskan pentingnya TPACK sebagai kerangka pengetahuan guru abad ke-21, khususnya dalam pembelajaran IPA dan Matematika. Chang et al. (2024) menunjukkan bahwa program PPG mampu meningkatkan TPACK guru sains di Indonesia, sementara Khasanah et al. (2025) dan Latip et al. (2024) menggambarkan variasi level TPACK guru IPA yang masih memerlukan intervensi terencana. Syahidi (2024) menempatkan TPACK sebagai kerangka kunci integrasi teknologi dalam pembelajaran IPA, sedangkan Yanti & Riandi (2019) memperlihatkan bahwa instrumen CoRe efektif memetakan CK dan

miskonsepsi guru, yang dapat dimanfaatkan untuk monitoring mutu pembelajaran pascapelatihan. Temuan-temuan ini memberikan justifikasi kuat untuk menjadikan TPACK dan turunannya sebagai indikator capaian utama dalam program pelatihan guru MIPA berbasis digitalisasi dan KA.

Rahmawati et al. (2024) melalui *systematic literature review* menemukan bahwa literasi digital guru umumnya berada pada level menengah dan merekomendasikan program pelatihan sebagai strategi utama peningkatan kapasitas. Rekomendasi ini diperkuat oleh Setyawati (2025) yang mengidentifikasi hambatan akses TIK dan kompetensi guru dalam penerapan KA, serta Fitriana et al. (2024) yang membuktikan bahwa pelatihan pemanfaatan Platform Merdeka Mengajar (PMM) mampu meningkatkan keterampilan digital dan pemanfaatan platform tersebut. Secara bersama, studi-studi ini menyediakan dasar analisis kebutuhan dan penentuan prioritas materi pelatihan digitalisasi yang kontekstual dengan kondisi guru di Indonesia, khususnya di jenjang SMP.

Karataş et al. (2024) menemukan bahwa calon guru memandang KA bermanfaat, tetapi menekankan kebutuhan pedoman etika dan contoh praktik nyata, sebuah temuan yang selaras dengan Gayed et al. (2025) yang menunjukkan sikap positif pendidik terhadap KA disertai tuntutan kerangka etika dan pelatihan yang jelas. Di konteks Indonesia, Murniati et al. (2024) dan Ikhsan (2025) menunjukkan bahwa integrasi KA di sekolah masih belum merata dan sangat membutuhkan pedoman operasional serta pelatihan berkelanjutan bagi guru dan sekolah. Hal ini menegaskan pentingnya memasukkan komponen etika, SOP penggunaan KA, praktik aman, dan skenario penerapan di kelas dalam modul pelatihan bagi guru Matematika dan IPA.

UNESCO (2023) dan SEAMEO STEM-ED (2024) menggambarkan adanya kesenjangan infrastruktur dan kapasitas di kawasan Asia Tenggara serta menekankan pentingnya tata kelola transformasi digital dan penguatan ekosistem kemitraan. Al-Zahrani (2024) dan Mukred et al. (2024) menunjukkan bahwa keberhasilan adopsi teknologi pembelajaran, termasuk

learning analytics, sangat dipengaruhi oleh kerangka kebijakan nasional, dukungan institusi, dan program capacity building yang sistematis. Rangkaian temuan ini memberi landasan bagi penelitian untuk merancang manajemen program pelatihan yang melibatkan multi-pemangku kepentingan, memperhatikan kesiapan infrastruktur, dan selaras dengan kebijakan transformasi digital pendidikan.

Hidajat et al. (2024) membuktikan bahwa teknologi virtual reality (VR) efektif meningkatkan kreativitas matematika siswa, sekaligus mendukung pembelajaran yang imersif dan berorientasi pada keterampilan berpikir tingkat tinggi. Temuan ini memberikan contoh konkret jenis konten pelatihan inovatif yang dapat diintegrasikan ke dalam program pelatihan guru Matematika dan IPA, sehingga guru tidak hanya memahami prinsip penggunaan KA, tetapi juga mampu mengimplementasikan media imersif dalam praktik pembelajaran. Integrasi materi VR dan teknologi mutakhir lain dalam pelatihan akan memperkaya cakupan kompetensi peserta dan mendukung tercapainya profil guru MIPA yang adaptif terhadap perkembangan teknologi.