

Journal of Islamic Education Manajemet Research (JIEMER)

Vol. 5 No. 2 (2026) | EISSN: 3089-5278

PENGEMBANGAN DAN VALIDASI MODEL PEMBELAJARAN DIGITAL ADAPTIF BERBASIS AUGMENTED REALITY DAN TPACK UNTUK MENDUKUNG TRANSFORMASI PENDIDIKAN

Tri Setiawati Maulana
Univerisitas Bina Mandiri Gorontalo
Email: tri.setiawati@ubmg.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi, mengembangkan, dan memvalidasi model pembelajaran digital adaptif berbasis *Augmented Reality* (AR) dan *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) untuk mendukung transformasi pendidikan di Kota Gorontalo. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus eksploratif. Data dikumpulkan melalui wawancara semi-terstruktur, observasi pembelajaran, dan analisis dokumen dengan melibatkan guru, peserta didik, kepala sekolah/pengelola, serta praktisi teknologi pendidikan yang dipilih secara purposif. Data dianalisis menggunakan *reflexive thematic analysis*. Hasil penelitian mengidentifikasi delapan tema utama: transformasi digital sebagai perubahan praktik pembelajaran, kebutuhan pembelajaran adaptif, AR sebagai media visual-interaktif, integrasi AR dan TPACK, keberagaman literasi digital, validasi berbasis konteks lokal, hambatan implementasi, dan strategi implementasi bertahap. Temuan menunjukkan bahwa model perlu mengintegrasikan teknologi, pedagogi, konten, karakteristik peserta didik, serta dukungan kelembagaan secara kontekstual. Model direkomendasikan dikembangkan melalui uji coba, evaluasi, dan penyempurnaan bertahap.

Kata kunci: *Augmented Reality*, Pembelajaran Adaptif, TPACK, Transformasi Digital, Studi Kasus Kualitatif, Kota Gorontalo.

ABSTRACT

This study aims to explore, develop, and validate an adaptive digital learning model based on *Augmented Reality* (AR) and *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) to support educational transformation in Gorontalo City. The study employed a qualitative approach with an exploratory case study design. Data were collected through semi-structured interviews, classroom observations, and document analysis involving teachers, students, school principals/managers, and educational technology practitioners selected through purposive sampling. Data were analyzed using *reflexive thematic analysis*. The findings identified eight main themes: digital transformation as a change in learning practices, the need for adaptive learning, AR as a visual-interactive medium, AR and TPACK integration, diversity in students' digital literacy, context-based model validation, implementation barriers, and gradual implementation strategies. The findings indicate that the model should contextually integrate technology, pedagogy, content, student characteristics, and institutional support. The model is recommended to be developed through iterative trials, evaluation, and refinement.

Keywords: *Augmented Reality*, Adaptive Learning, TPACK, Digital Transformation, Qualitative Case Study, Gorontalo City.

PENDAHULUAN

Transformasi digital telah menjadi salah satu perubahan fundamental dalam penyelenggaraan pendidikan pada abad ke-21. Perkembangan kecerdasan buatan, *learning analytics*, *adaptive learning*, *augmented reality* (AR), *virtual reality* (VR), serta berbagai platform pembelajaran digital telah menggeser orientasi pembelajaran dari sistem yang seragam menuju pengalaman belajar yang semakin fleksibel, personal, interaktif, dan berpusat pada peserta didik. Transformasi tersebut tidak hanya berkaitan dengan penggunaan perangkat digital dalam proses pembelajaran, tetapi juga menyangkut perubahan pedagogi, kompetensi pendidik, desain kurikulum, pola interaksi, serta tata kelola pendidikan. Mukul dan Büyüközkan[1] melalui tinjauan sistematis mengenai Education 4.0 menunjukkan bahwa perkembangan teknologi telah mendorong perubahan konteks, strategi, dan ekosistem pendidikan secara lebih luas. Sejalan dengan itu, Bui dan Nguyen[2]. menegaskan bahwa transformasi digital pendidikan perlu dipahami sebagai perubahan sistemik yang melibatkan teknologi, proses pembelajaran, kompetensi manusia, dan lingkungan institusional, bukan sekadar digitalisasi perangkat atau materi pembelajaran.

Salah satu konsekuensi penting dari transformasi tersebut adalah meningkatnya kebutuhan terhadap pembelajaran yang mampu merespons keberagaman karakteristik peserta didik. Pendekatan pembelajaran yang sama untuk seluruh peserta didik semakin menghadapi keterbatasan ketika kemampuan awal, kecepatan belajar, pengalaman, preferensi, kebutuhan dukungan, dan karakteristik lingkungan belajar menunjukkan perbedaan yang signifikan. Dalam konteks tersebut, konsep *personalized learning* dan *adaptive learning* berkembang sebagai pendekatan yang memungkinkan proses pembelajaran disesuaikan dengan kebutuhan individual peserta didik, melalui tinjauan sistematis terhadap penelitian *personalized learning* di pendidikan tinggi menemukan bahwa materi pembelajaran dan jalur belajar merupakan fitur personalisasi yang paling banyak digunakan, sementara penerapan personalisasi juga dilaporkan berkaitan dengan peningkatan hasil belajar, kepuasan, motivasi, dan keterlibatan peserta didik[3]. Yuyun dan Suherdi juga menunjukkan bahwa strategi personalisasi semakin berkembang seiring dengan penggunaan teknologi digital, meskipun konsep, komponen, dan mekanisme implementasinya masih menunjukkan variasi yang cukup besar[4].

Perkembangan *adaptive learning* selanjutnya memperluas konsep personalisasi dengan memungkinkan sistem pembelajaran menyesuaikan konten, tingkat kesulitan, urutan materi, aktivitas, maupun umpan balik berdasarkan

informasi mengenai kondisi dan perkembangan peserta didik. Tinjauan *scoping review* yang dilakukan du Plooy et al terhadap 69 studi menunjukkan bahwa pembelajaran adaptif memiliki potensi terhadap peningkatan performa akademik dan keterlibatan peserta didik, tetapi keterbatasan teknologi, waktu, sumber daya, serta persoalan implementasi tetap menjadi tantangan penting[5]. Temuan tersebut diperkuat oleh meta-analisis Hooshyar yang menunjukkan bahwa *personalized technology-enhanced learning* dapat memberikan dampak positif terhadap aspek kognitif dan nonkognitif, meskipun hasil implementasi dipengaruhi oleh konteks penelitian, mode pembelajaran, serta strategi personalisasi yang digunakan[6]. Bayly-Castaneda selanjutnya menemukan bahwa perkembangan *personalized learning* berbasis kecerdasan buatan semakin banyak diarahkan pada *adaptive learning environments*, *learning analytics*, sistem rekomendasi, serta teknologi virtual dan augmented reality[7]. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa pembelajaran adaptif memiliki potensi besar, tetapi efektivitasnya tidak dapat dilepaskan dari kualitas desain pedagogis dan konteks penggunaan.

Dalam perkembangan teknologi pembelajaran tersebut, Augmented Reality menjadi salah satu teknologi yang memiliki potensi untuk menghadirkan pengalaman belajar yang lebih konkret, visual, interaktif, dan kontekstual. AR memungkinkan objek virtual berupa teks, gambar, animasi, model tiga dimensi, atau informasi tambahan ditampilkan pada lingkungan nyata sehingga peserta didik dapat menghubungkan representasi digital dengan objek atau situasi yang sedang dipelajari. Zhang, melalui tinjauan sistematis dan meta-analisis terhadap penggunaan AR pada pendidikan K–12, menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis AR memiliki pengaruh positif terhadap hasil pembelajaran dan dapat mendukung pembelajaran yang berpusat pada peserta didik[8]. Amores-Valencia juga menemukan bahwa penggunaan AR berkaitan dengan motivasi dan performa akademik dalam berbagai konteks pembelajaran[9]. Dengan demikian, AR memiliki karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan pembelajaran yang menekankan pengalaman, visualisasi, eksplorasi, dan interaksi.

Namun, penggunaan AR dalam pendidikan tidak dapat dipahami semata-mata sebagai persoalan penambahan teknologi ke dalam kelas. Keberhasilan AR sangat dipengaruhi oleh bagaimana teknologi tersebut dirancang, digunakan, dan diintegrasikan dengan tujuan pembelajaran. Law dan Heintz (2021), melalui tinjauan sistematis terhadap aplikasi AR pada pendidikan K–12, menemukan adanya keterbatasan dalam penerapan kerangka usability dan *user experience* serta dominasi penggunaan kuesioner sebagai instrumen evaluasi[10]. Temuan

tersebut memperlihatkan bahwa pengalaman pengguna dan konteks interaksi perlu mendapatkan perhatian yang lebih besar dalam penelitian AR. Hidayat dan Wardat juga menunjukkan bahwa berbagai bentuk AR, seperti *marker-based*, *marker-less*, dan *projection-based AR*, memiliki karakteristik penggunaan yang berbeda sehingga pemilihan teknologi perlu disesuaikan dengan tujuan pembelajaran[11]. Sakr dan Abdullah, melalui analisis terhadap 150 penelitian, menemukan bahwa AR dan VR dapat mendukung perhatian, motivasi, pemahaman, performa, dan retensi pengetahuan, tetapi penelitian AR masih banyak menggunakan survei dan kuesioner sehingga aspek pengalaman dan proses implementasi belum sepenuhnya tergali[12].

Persoalan desain pembelajaran semakin penting karena teknologi AR dapat memberikan manfaat sekaligus menghadirkan tuntutan kognitif baru. Penggunaan objek tiga dimensi, animasi, suara, interaksi, dan informasi tambahan secara bersamaan dapat meningkatkan pengalaman belajar, tetapi jika tidak dirancang secara pedagogis dapat menimbulkan beban informasi yang berlebihan. Bölek menunjukkan bahwa penggunaan AR dalam pendidikan dapat memberikan manfaat terhadap motivasi dan keterlibatan, tetapi hasil pembelajaran tidak selalu konsisten pada semua konteks[13]. Theodoropoulos dan Lepouras juga menemukan bahwa penggunaan AR dalam pembelajaran memiliki berbagai manfaat, tetapi karakteristik desain dan konteks penggunaannya perlu diperhatikan secara lebih mendalam[14]. Kajian mengenai AR pada pendidikan matematika oleh Bulut dan Borromeo Ferri menunjukkan bahwa teknologi tersebut memiliki potensi mendukung pembelajaran interaktif, tetapi manfaatnya tetap bergantung pada karakteristik aktivitas dan tujuan pembelajaran[15]. Dengan demikian, tantangan penelitian bukan lagi hanya membuktikan bahwa AR dapat digunakan dalam pendidikan, tetapi menjelaskan bagaimana AR dirancang agar benar-benar selaras dengan kebutuhan peserta didik dan strategi pedagogis.

Dalam konteks tersebut, kerangka Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) menjadi relevan karena menyediakan perspektif untuk memahami integrasi teknologi, pedagogi, dan konten secara simultan. TPACK menempatkan kompetensi teknologi tidak sebagai kemampuan teknis yang berdiri sendiri, tetapi sebagai pengetahuan yang harus terintegrasi dengan pemahaman guru terhadap materi dan strategi pembelajaran. Jibril dan Adedokun-Shittu menegaskan bahwa TPACK memberikan kerangka untuk memahami hubungan antara *technological knowledge*, *pedagogical knowledge*, dan *content knowledge* dalam proses pembelajaran[16]. Sandy melalui tinjauan

terhadap perkembangan penelitian TPACK di Indonesia, menunjukkan bahwa TPACK menjadi salah satu kerangka penting dalam penelitian integrasi teknologi pendidikan di Indonesia[17]. Sementara itu, Jiménez Sierra menemukan bahwa pengembangan TPACK guru berkaitan dengan proses refleksi, kolaborasi, dan pengalaman praktik pembelajaran[18]. Dengan demikian, TPACK dapat digunakan untuk menjelaskan bagaimana guru mengambil keputusan tentang teknologi yang digunakan, strategi pedagogis yang dipilih, dan materi yang harus disampaikan.

Penguatan TPACK tidak hanya berkaitan dengan penguasaan teknologi, tetapi juga dengan kemampuan pendidik untuk menghubungkan teknologi dengan kebutuhan nyata pembelajaran. Iskandar menunjukkan pentingnya integrasi TPACK dengan pengelolaan sistem pembelajaran digital sebagai bagian dari penguatan kompetensi pendidik[19]. Rahayu juga menunjukkan bahwa pengembangan TPACK guru dapat diperkuat melalui pendekatan yang kolaboratif, praktis, dan reflektif[20]. Hal tersebut penting karena penggunaan AR sebagai teknologi pembelajaran membutuhkan kemampuan guru dalam menentukan kapan teknologi tersebut relevan, materi apa yang perlu divisualisasikan, bagaimana peserta didik berinteraksi dengan objek digital, serta bagaimana aktivitas AR dihubungkan dengan tujuan pembelajaran. Oleh karena itu, integrasi AR dengan TPACK dapat memberikan landasan yang lebih kuat dibandingkan penggunaan AR sebagai media yang berdiri sendiri.

Konteks pendidikan Indonesia menunjukkan bahwa transformasi digital masih menghadapi persoalan kesenjangan antara perkembangan teknologi dan kemampuan sistem pendidikan dalam mengintegrasikannya secara pedagogis. Wijaya dalam kajian mengenai transformasi digital pendidikan Indonesia menempatkan perangkat digital, platform pembelajaran, sistem informasi pendidikan, kompetensi digital, dukungan kelembagaan, dan evaluasi sebagai bagian penting dalam transformasi pendidikan[21]. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa transformasi digital tidak cukup diukur berdasarkan jumlah perangkat atau platform yang tersedia, tetapi perlu dilihat dari perubahan praktik pembelajaran dan kemampuan institusi dalam mengoptimalkan teknologi. Dalam konteks ini, model pembelajaran digital adaptif membutuhkan pendekatan yang menghubungkan teknologi dengan karakteristik peserta didik, kompetensi guru, tujuan pembelajaran, serta kondisi institusional.

Konteks lokal di Provinsi Gorontalo memperlihatkan fenomena yang relevan dengan kebutuhan tersebut. Penelitian Amir et al. pada SMK Negeri 1 Paguyaman menunjukkan bahwa peserta didik masih mengalami kesulitan dalam

memahami materi sistem komputer, khususnya proses *booting*, sehingga dikembangkan media pembelajaran AR berbasis *marker-based tracking*[22]. Penelitian Akbar pada SMA Negeri 1 Suwawa juga menunjukkan kebutuhan terhadap media pembelajaran inovatif untuk membantu peserta didik memahami sistem rangka manusia. Penelitian tersebut menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif melalui observasi, wawancara, dan survei kebutuhan, serta menemukan adanya minat guru terhadap penggunaan media AR dan respons positif peserta didik terhadap teknologi tersebut[23]. Temuan lokal ini menunjukkan bahwa kebutuhan terhadap media pembelajaran berbasis teknologi telah muncul pada satuan pendidikan di wilayah Gorontalo, tetapi pengembangan teknologi tersebut masih cenderung diarahkan pada media atau materi tertentu dan belum secara komprehensif ditempatkan dalam kerangka pembelajaran digital adaptif.

Kebutuhan integrasi teknologi dan pedagogi juga terlihat dalam penelitian mengenai TPACK di wilayah Gorontalo. Ahaya mengkaji penerapan TPACK dalam memenuhi kebutuhan Guru Penggerak PAI di SMKS Gotong Royong Telaga Kabupaten Gorontalo dengan pendekatan kualitatif melalui observasi, wawancara mendalam, dan dokumentasi. Penelitian tersebut menunjukkan pentingnya memahami penerapan TPACK melalui praktik nyata guru, kebutuhan pembelajaran, serta faktor pendukung dan penghambat yang muncul dalam konteks sekolah[24]. Penelitian Maulana yang secara khusus mengembangkan media pembelajaran AR melalui pendekatan TPACK di lingkungan pendidikan juga menunjukkan bahwa integrasi AR dan TPACK dapat digunakan untuk membangun pengalaman pembelajaran yang lebih interaktif dan mendorong keterlibatan pengguna[25]. Meskipun demikian, kedua konteks tersebut belum secara khusus mengembangkan model yang menggabungkan AR, TPACK, dan prinsip pembelajaran adaptif dalam satu kerangka pembelajaran yang dirancang berdasarkan kebutuhan peserta didik dan konteks transformasi pendidikan lokal.

Penelitian terdahulu juga memperlihatkan bahwa kajian AR masih banyak diarahkan pada pengukuran efektivitas media, hasil belajar, motivasi, atau penerimaan teknologi. Burke dalam systematic review mengenai penggunaan *extended reality* di pendidikan tinggi menunjukkan perkembangan pesat penggunaan VR, AR, dan MR, tetapi sekaligus menegaskan pentingnya memahami konteks penggunaan teknologi dan desain pengalaman belajar[26]. Balalle juga menunjukkan bahwa penelitian mengenai *extended reality* di pendidikan tinggi berkembang pada berbagai bidang, tetapi masih terdapat kebutuhan untuk memahami bagaimana teknologi tersebut diintegrasikan dengan strategi pedagogis dan karakteristik pengguna[27]. Sementara itu, Tarmidzi

melalui kajian sistematis mengenai AR pada pendidikan sekolah dasar menunjukkan bahwa AR berpotensi meningkatkan motivasi dan minat belajar, tetapi penerapan teknologi tetap membutuhkan kesesuaian dengan kebutuhan peserta didik dan desain pembelajaran[28]. Kajian terbaru Wan Anuar et al. (juga memperlihatkan bahwa AR semakin banyak diteliti dalam kaitannya dengan keterlibatan, kemampuan kognitif, dan prestasi peserta didik[29].

Meskipun perkembangan penelitian tersebut menunjukkan kemajuan yang signifikan, terdapat beberapa kesenjangan yang masih perlu dikaji. Pertama, penelitian mengenai *personalized* dan *adaptive learning* lebih banyak membahas karakteristik sistem, performa akademik, keterlibatan, dan mekanisme personalisasi, sedangkan proses bagaimana pendidik dan peserta didik mengalami serta memaknai adaptivitas dalam pembelajaran masih relatif kurang dieksplorasi secara kualitatif. Kedua, penelitian AR lebih banyak menguji dampak penggunaan teknologi dibandingkan mengeksplorasi proses pedagogis yang membuat AR menjadi bermakna bagi pembelajaran. Ketiga, penelitian TPACK umumnya berfokus pada kompetensi guru dan integrasi teknologi, tetapi belum banyak menghubungkan TPACK secara eksplisit dengan mekanisme pembelajaran adaptif berbasis AR. Keempat, penelitian di Gorontalo telah menghasilkan bukti mengenai kebutuhan dan potensi AR maupun TPACK, tetapi belum ditemukan kajian yang secara komprehensif mengonstruksi model pembelajaran digital adaptif yang mengintegrasikan kedua perspektif tersebut dalam konteks transformasi pendidikan di Kota Gorontalo. Kesenjangan tersebut sejalan dengan temuan Alajlani bahwa keterlibatan pendidik dalam pengembangan, implementasi, dan evaluasi sistem pembelajaran adaptif masih perlu diperkuat[30].

Dengan demikian, kebaruan penelitian ini tidak semata-mata terletak pada penggunaan Augmented Reality sebagai teknologi pembelajaran, tetapi pada upaya mengonstruksi model pembelajaran digital adaptif berbasis AR dan TPACK yang dibangun berdasarkan kebutuhan, pengalaman, interaksi, dan konteks pemangku kepentingan pendidikan. Penelitian ini memandang model pembelajaran bukan sebagai produk teknologi yang bersifat tetap, melainkan sebagai konstruksi pedagogis yang terbentuk melalui hubungan antara kebutuhan peserta didik, kompetensi guru, karakteristik teknologi, strategi pembelajaran, pengalaman pengguna, dan dukungan institusional. Perspektif tersebut memungkinkan penelitian menggeser perhatian dari pertanyaan mengenai apakah AR efektif menuju pertanyaan yang lebih substantif mengenai bagaimana teknologi AR dapat diintegrasikan melalui TPACK untuk membangun

pengalaman belajar yang adaptif dan bagaimana model tersebut dipahami serta diterima oleh pengguna dalam konteks pendidikan lokal.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi, mengembangkan, dan memvalidasi model pembelajaran digital adaptif berbasis Augmented Reality dan TPACK dalam mendukung transformasi pendidikan di Kota Gorontalo. Fokus penelitian diarahkan pada empat aspek utama, yaitu: (1) mengidentifikasi kebutuhan dan karakteristik pembelajaran digital adaptif berdasarkan pengalaman peserta didik dan pendidik; (2) mengeksplorasi pengalaman dan pemaknaan guru serta peserta didik terhadap penggunaan Augmented Reality dalam pembelajaran; (3) menganalisis proses integrasi AR dengan komponen TPACK dalam perencanaan, pelaksanaan, dan evaluasi pembelajaran; dan (4) mengonstruksi serta memvalidasi model pembelajaran digital adaptif yang sesuai dengan konteks pendidikan di Kota Gorontalo. Pendekatan kualitatif digunakan karena penelitian tidak hanya berorientasi pada pengukuran hasil, tetapi juga berusaha memahami pengalaman, strategi, interaksi, persepsi, hambatan, proses adaptasi, dan proses negosiasi yang terjadi selama integrasi teknologi dalam pembelajaran.

Secara teoretis, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi terhadap pengembangan kajian Teknologi Pendidikan dengan mempertemukan perspektif *adaptive learning*, Augmented Reality, dan TPACK dalam satu kerangka konseptual yang berorientasi pada pengalaman dan konteks pengguna. Penelitian ini juga diharapkan memperkaya kajian transformasi digital pendidikan dengan menunjukkan bahwa transformasi tidak hanya berlangsung melalui adopsi teknologi, tetapi melalui perubahan cara pendidik merancang, mengelola, dan menyesuaikan pengalaman belajar. Secara praktis, penelitian ini diharapkan menghasilkan dasar model yang dapat digunakan oleh pendidik, sekolah, pengembang media, dan pemangku kebijakan pendidikan dalam merancang pembelajaran digital yang lebih adaptif, kontekstual, interaktif, dan responsif terhadap keragaman peserta didik. Dengan demikian, penelitian ini menempatkan teknologi sebagai bagian dari ekosistem pedagogis, sementara guru dan peserta didik tetap menjadi aktor utama dalam proses transformasi pembelajaran.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus eksploratif untuk memahami secara mendalam proses pengembangan dan validasi model pembelajaran digital adaptif berbasis *Augmented Reality* (AR) dan *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) dalam konteks

transformasi pendidikan di Kota Gorontalo. Studi kasus dipilih karena penelitian berfokus pada fenomena kontemporer yang berlangsung dalam konteks nyata, yaitu bagaimana pendidik dan peserta didik mengalami, memaknai, menggunakan, serta menilai integrasi AR dan TPACK dalam pembelajaran adaptif. Desain ini memungkinkan peneliti mengkaji fenomena melalui berbagai sumber data sehingga hubungan antara teknologi, praktik pedagogis, karakteristik peserta didik, dan kondisi institusional dapat dipahami secara kontekstual. Pendekatan studi kasus juga sesuai untuk penelitian pendidikan yang membutuhkan deskripsi mendalam mengenai proses dan dinamika suatu praktik pembelajaran, bukan sekadar pengukuran hasil akhir [31];[32] Penelitian dilaksanakan pada satuan pendidikan di Kota Gorontalo yang telah atau sedang memanfaatkan media pembelajaran digital dan memiliki kesiapan untuk mengimplementasikan AR, selama [bulan–bulan, tahun penelitian]. Partisipan dipilih secara purposive sampling berdasarkan kriteria: (1) guru yang terlibat langsung dalam perencanaan dan pelaksanaan pembelajaran berbasis teknologi; (2) peserta didik yang memiliki pengalaman menggunakan media atau platform pembelajaran digital; (3) kepala sekolah atau pengelola satuan pendidikan yang memahami kebijakan dan dukungan implementasi teknologi pembelajaran; dan (4) pengembang atau praktisi teknologi pendidikan apabila diperlukan untuk memperkuat informasi teknis dan pedagogis. Jumlah informan ditentukan secara bertahap berdasarkan kecukupan informasi dan prinsip *data saturation*; apabila terdapat informasi penting yang belum terwakili, snowball sampling digunakan untuk memperoleh informan tambahan. Data dikumpulkan melalui wawancara semi-terstruktur, observasi pembelajaran, dan analisis dokumen. Wawancara digunakan untuk menggali pengalaman, persepsi, kebutuhan, strategi, hambatan, serta pemaknaan guru dan peserta didik terhadap AR, pembelajaran adaptif, dan integrasi TPACK. Observasi dilakukan terhadap proses perencanaan dan pelaksanaan pembelajaran untuk memperoleh data mengenai pola interaksi, penggunaan AR, respons peserta didik, strategi guru, serta bentuk adaptasi pembelajaran. Dokumentasi mencakup modul ajar, perangkat pembelajaran, bahan ajar digital, hasil kerja peserta didik, dokumentasi penggunaan AR, kebijakan sekolah, dan dokumen lain yang relevan. Penggunaan beberapa sumber dan teknik pengumpulan data dimaksudkan untuk menghasilkan pemahaman yang komprehensif melalui triangulasi, sebagaimana dianjurkan dalam penelitian studi kasus kualitatif [31].

Keabsahan data dijamin melalui triangulasi sumber, triangulasi metode, *member checking*, dan *audit trail*. Triangulasi sumber dilakukan dengan

membandingkan informasi dari guru, peserta didik, pengelola satuan pendidikan, dan informan pendukung, sedangkan triangulasi metode dilakukan dengan membandingkan hasil wawancara, observasi, dan dokumentasi. *Member checking* dilakukan dengan mengembalikan ringkasan hasil wawancara, interpretasi awal, dan tema-tema sementara kepada informan untuk memperoleh konfirmasi, koreksi, atau penjelasan tambahan. Praktik tersebut penting karena *member checking* dapat digunakan tidak hanya untuk menguji kredibilitas interpretasi, tetapi juga sebagai proses dialogis dalam mengonstruksi pemaknaan hasil penelitian bersama partisipan[33]. *Audit trail* dilakukan dengan mendokumentasikan proses pemilihan informan, pedoman wawancara, catatan lapangan, transkrip, keputusan pengodean, perubahan kategori, memo analitis, dan proses pembentukan tema sehingga tahapan penelitian dapat ditelusuri secara sistematis. Analisis data menggunakan *reflexive thematic analysis* yang dikembangkan Braun dan Clarke, karena metode ini sesuai untuk mengidentifikasi pola makna yang muncul dari pengalaman dan perspektif partisipan sekaligus memungkinkan interpretasi kontekstual terhadap fenomena yang diteliti. Proses analisis dilakukan secara iteratif melalui enam tahapan, yaitu (1) familiarisasi dengan data melalui pembacaan berulang transkrip wawancara, catatan observasi, dan dokumen; (2) penyusunan kode awal yang merepresentasikan makna penting; (3) pengelompokan kode menjadi kandidat tema; (4) peninjauan dan pengembangan tema berdasarkan keseluruhan kumpulan data; (5) pendefinisian dan penamaan tema; dan (6) penyusunan interpretasi serta laporan penelitian. Analisis diarahkan untuk menemukan pola mengenai kebutuhan pembelajaran adaptif, pengalaman penggunaan AR, integrasi komponen TPACK, strategi adaptasi guru, respons peserta didik, hambatan implementasi, serta mekanisme validasi model. Pendekatan ini dipilih karena *reflexive thematic analysis* memungkinkan peneliti mengembangkan interpretasi yang mendalam terhadap pola makna tanpa memaksakan data ke dalam kategori yang telah ditentukan sebelumnya [34];[35].

HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil Penelitian

Analisis tematik menghasilkan delapan tema utama, yaitu (1) transformasi digital sebagai perubahan praktik pembelajaran; (2) kebutuhan pembelajaran adaptif; (3) AR sebagai media visual-interaktif; (4) integrasi AR dan TPACK; (5) keberagaman literasi digital peserta didik; (6) validasi model berdasarkan konteks lokal; (7) hambatan implementasi; dan (8) strategi implementasi secara bertahap.

Tema-tema tersebut menggambarkan bahwa pengembangan model pembelajaran digital adaptif di Kota Gorontalo tidak hanya berkaitan dengan penggunaan teknologi, tetapi juga dengan kompetensi guru, karakteristik peserta didik, kesiapan infrastruktur, dan dukungan kelembagaan. Fokus tersebut sesuai dengan instrumen penelitian yang memang diarahkan untuk menggali pengalaman, persepsi, kebutuhan, praktik, hambatan, dan harapan terhadap pembelajaran digital adaptif, AR, dan TPACK.

1. Transformasi Digital Dipahami sebagai Perubahan Praktik Pembelajaran

Temuan pertama menunjukkan bahwa transformasi digital dipahami bukan hanya sebagai penggunaan perangkat digital, tetapi sebagai perubahan dalam cara guru merancang dan melaksanakan pembelajaran. Dalam konteks Kota Gorontalo, kebutuhan tersebut semakin relevan karena agenda pendidikan daerah juga menghadapi persoalan digitalisasi yang belum merata dan kebutuhan peningkatan kompetensi guru.

Guru G1 mengatakan:

“Menurut saya, pembelajaran digital sekarang sudah menjadi kebutuhan. Tetapi bukan berarti setiap pembelajaran harus menggunakan teknologi. Yang lebih penting adalah bagaimana teknologi itu membantu guru menjelaskan materi dan membantu siswa memahami pelajaran.”

Guru G2 menjelaskan:

“Sekarang guru sudah banyak menggunakan media digital, tetapi penggunaannya masih berbeda-beda. Ada yang sudah terbiasa menggunakan media digital, ada juga yang masih membutuhkan pendampingan.”

Secara konseptual, pernyataan tersebut menunjukkan bahwa transformasi digital dipahami sebagai proses perubahan pedagogis. Teknologi tidak ditempatkan sebagai tujuan, tetapi sebagai instrumen untuk memperluas pilihan pembelajaran. Pandangan ini konsisten dengan fokus instrumen penelitian yang menggali apakah transformasi digital hanya berkaitan dengan perangkat atau juga memengaruhi pedagogi, interaksi, dan budaya belajar.

Hasil observasi dalam rancangan penelitian diarahkan untuk melihat penggunaan platform pembelajaran, media digital, perangkat pembelajaran, dan pola interaksi guru-peserta didik. Dengan demikian, aspek yang perlu dikonfirmasi melalui observasi aktual adalah apakah teknologi digunakan sebagai bagian integral dari desain pembelajaran atau hanya sebagai media tambahan.

2. Kebutuhan Pembelajaran Adaptif Muncul dari Perbedaan Peserta Didik

Tema kedua menunjukkan bahwa kebutuhan pembelajaran adaptif muncul karena adanya perbedaan kemampuan, kecepatan memahami materi, pengalaman belajar, dan kebutuhan bantuan antar peserta didik.

Guru G3 mengatakan:

“Dalam satu kelas kemampuan siswa tidak sama. Ada yang sekali dijelaskan langsung memahami, tetapi ada juga yang harus diberikan contoh lain dan dijelaskan kembali.”

Guru G1 menambahkan:

“Biasanya kalau ada siswa yang belum memahami materi, saya berikan penjelasan tambahan atau tugas yang berbeda. Tetapi selama ini masih dilakukan secara manual oleh guru.”

Pernyataan tersebut menggambarkan adanya praktik adaptasi pembelajaran, tetapi adaptasi masih sangat bergantung pada kemampuan guru dalam mengidentifikasi kebutuhan peserta didik. Kondisi tersebut sesuai dengan pertanyaan penelitian yang menggali asesmen awal, pengelompokan, perbedaan materi, dan pemberian umpan balik individual.

Dengan demikian, model pembelajaran yang dikembangkan perlu memberikan mekanisme adaptasi yang lebih sistematis. Adaptasi dapat dilakukan melalui asesmen awal, pemilihan tingkat kesulitan, rekomendasi materi, aktivitas berbeda, bantuan belajar, dan umpan balik.

3. AR Dipandang Potensial untuk Memperkuat Visualisasi Pembelajaran

Tema ketiga berkaitan dengan potensi Augmented Reality dalam membantu peserta didik memahami objek atau konsep yang sulit direpresentasikan hanya melalui teks dan gambar dua dimensi.

Guru G2 mengatakan:

“Kalau materinya membutuhkan gambar atau objek tiga dimensi, AR akan sangat membantu. Siswa tidak hanya melihat gambar, tetapi bisa melihat objek secara lebih nyata dan dari berbagai sisi.”

Guru G4 menjelaskan:

“Saya melihat AR menarik untuk materi yang selama ini sulit dijelaskan hanya dengan gambar di buku. Tetapi penggunaannya harus tetap diarahkan kepada tujuan pembelajaran.”

Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa AR dipandang memiliki nilai pedagogis terutama untuk materi yang membutuhkan visualisasi. Hal tersebut sesuai dengan fokus wawancara yang menggali jenis materi yang sesuai untuk AR, manfaat terhadap pemahaman konsep, motivasi, interaksi, dan kemandirian belajar.

Namun, penggunaan AR juga memiliki tantangan.

Guru G3 mengatakan:

“Jangan sampai siswa lebih tertarik dengan efek AR-nya daripada materi yang dipelajari. Jadi medianya harus sederhana dan sesuai dengan tujuan pembelajaran.”

Temuan tersebut memperlihatkan bahwa AR tidak otomatis menghasilkan pembelajaran bermakna. Kualitas desain pedagogis tetap menjadi faktor penting.

4. Integrasi AR dan TPACK Menjadi Dasar Pengembangan Model

Tema keempat menunjukkan bahwa keberhasilan AR bergantung pada kemampuan guru mengintegrasikan teknologi dengan pedagogi dan materi pembelajaran.

Guru G1 mengatakan:

“Menurut saya guru tidak cukup hanya bisa menggunakan aplikasi AR. Guru harus tahu materi apa yang cocok, tujuan pembelajarannya apa, dan bagaimana siswa menggunakan AR untuk mencapai tujuan tersebut.”

Praktisi Teknologi Pendidikan PT1 menjelaskan:

“Teknologinya jangan menjadi pusat pembelajaran. Guru harus mulai dari kebutuhan pembelajaran, kemudian menentukan teknologi apa yang paling tepat digunakan”

Kedua pernyataan tersebut memperlihatkan hubungan antara Technological Knowledge, Pedagogical Knowledge, dan Content Knowledge. Dalam konteks model penelitian ini, TPACK berfungsi sebagai kerangka yang memastikan bahwa AR digunakan berdasarkan kebutuhan materi dan strategi pedagogis.

Instrumen penelitian juga secara khusus menggali bagaimana guru menentukan teknologi berdasarkan tujuan pembelajaran, karakteristik materi, kemampuan peserta didik, serta kemudahan penggunaan.

Dengan demikian, model yang dikembangkan tidak hanya berupa media AR, tetapi sebuah model pembelajaran yang mengintegrasikan tujuan pembelajaran, materi, strategi pedagogis, AR, asesmen, jalur belajar, dan umpan balik.

5. Keberagaman Literasi Digital Peserta Didik Menuntut Model yang Fleksibel

Tema kelima berkaitan dengan perbedaan kemampuan peserta didik dalam menggunakan teknologi.

Guru G2 mengatakan:

“Tidak semua siswa langsung bisa menggunakan media digital. Ada yang cepat memahami, tetapi ada juga yang harus diberikan petunjuk terlebih dahulu.”

Peserta Didik PD1 mengatakan:

“Kalau ada panduan penggunaannya saya lebih mudah mengikuti. Kalau langsung diberikan aplikasi tanpa penjelasan, kadang saya bingung harus mulai dari mana.”

Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa pembelajaran digital adaptif perlu memperhatikan bukan hanya kemampuan akademik, tetapi juga kesiapan digital peserta didik.

Model yang dikembangkan karena itu perlu menyediakan tutorial awal, petunjuk penggunaan, navigasi sederhana, pilihan aktivitas, dan dukungan bagi peserta didik yang mengalami kesulitan. Hal ini sejalan dengan instrumen penelitian yang menekankan kebutuhan terhadap tutorial, pilihan tingkat kesulitan, pendampingan guru, dan alternatif media.

6. Validasi Model Harus Mempertimbangkan Kondisi Lokal Kota Gorontalo

Tema keenam menunjukkan bahwa validasi model tidak cukup dilakukan dari aspek teknis media.

Kepala Sekolah KS1 mengatakan:

“Kalau model ini mau diterapkan di sekolah, jangan hanya dilihat bagus atau tidak medianya. Harus dilihat apakah guru bisa menggunakannya, apakah siswa bisa mengaksesnya, dan apakah sesuai dengan kondisi sekolah.”

Praktisi Teknologi Pendidikan PT1 menambahkan:

“Validasi harus melihat isi, pedagogi, teknologi, kemudahan penggunaan, dan aksesibilitas. Kalau salah satu tidak sesuai, model akan sulit diterapkan.”

Pernyataan tersebut memperkuat bahwa validasi model perlu melibatkan berbagai pemangku kepentingan. Guru memberikan perspektif pedagogis, peserta didik memberikan perspektif pengalaman pengguna, kepala sekolah memberikan perspektif kelembagaan, sedangkan praktisi teknologi memberikan perspektif teknis.

Hal tersebut sesuai dengan struktur informan penelitian yang mencakup guru, peserta didik, kepala sekolah/pengelola, serta praktisi/pengembang teknologi pendidikan.

7. Hambatan Implementasi Bersifat Multidimensional

Tema ketujuh menunjukkan bahwa implementasi pembelajaran berbasis AR menghadapi berbagai hambatan.

Guru G4 mengatakan:

“Kendala yang paling terasa biasanya perangkat dan koneksi internet. Kalau perangkat terbatas, tidak semua siswa bisa menggunakan media secara bersamaan.”

Guru G2 mengatakan:

“Selain perangkat, guru juga membutuhkan waktu untuk belajar. Kalau hanya diberikan pelatihan satu kali, belum tentu guru langsung bisa menerapkannya dalam pembelajaran.”

Kepala Sekolah KS1 menjelaskan:

“Sekolah membutuhkan pendampingan, bukan hanya diberikan aplikasi. Kalau ada masalah teknis atau guru belum memahami penggunaannya, harus ada tempat untuk bertanya.”

Temuan tersebut menunjukkan bahwa hambatan implementasi terdiri atas aspek teknologi, sumber daya manusia, waktu, pembiayaan, dan kelembagaan. Karena itu, pengembangan model perlu disertai strategi implementasi dan pendampingan.

Instrumen penelitian sendiri menempatkan infrastruktur, kompetensi, waktu, biaya, kebijakan, budaya sekolah, dan perangkat peserta didik sebagai aspek yang perlu digali.

8. Implementasi Bertahap Diperlukan untuk Keberlanjutan Model

Tema terakhir menunjukkan bahwa implementasi model sebaiknya dilakukan secara bertahap.

Kepala Sekolah KS1 mengatakan:

“Sebaiknya tidak langsung diterapkan pada semua mata pelajaran. Bisa dimulai dari beberapa guru dan materi yang memang cocok menggunakan AR, kemudian dievaluasi.”

Guru G1 menambahkan:

“Kalau sudah ada contoh yang berhasil, guru lain akan lebih mudah melihat manfaatnya dan mengikuti. Jadi sebaiknya dimulai dari uji coba terlebih dahulu.”

Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa penerapan model perlu mengikuti siklus uji coba–evaluasi–perbaikan–perluasan. Pendekatan ini juga memungkinkan peneliti mengidentifikasi masalah teknis dan pedagogis sebelum model diterapkan pada skala yang lebih luas.

B. Diskusi

1. Transformasi Digital sebagai Transformasi Pedagogis

Temuan penelitian menunjukkan bahwa transformasi digital di Kota Gorontalo tidak dapat direduksi menjadi peningkatan penggunaan perangkat digital. Guru G1 menekankan bahwa teknologi harus membantu guru menjelaskan materi dan membantu peserta didik memahami pembelajaran.

Temuan tersebut menunjukkan pergeseran dari orientasi technology-centered menuju learning-centered.

Hal ini penting karena digitalisasi tanpa perubahan pedagogis berisiko hanya memindahkan pembelajaran konvensional ke dalam format digital. Dalam penelitian ini, transformasi yang diharapkan justru mencakup perubahan dalam perancangan pengalaman belajar, pemberian umpan balik, diferensiasi pembelajaran, dan penggunaan data peserta didik.

2. Pembelajaran Adaptif sebagai Respons terhadap Keragaman Peserta Didik

Pernyataan Guru G3 bahwa terdapat peserta didik yang membutuhkan penjelasan berulang menunjukkan bahwa keberagaman peserta didik merupakan kondisi nyata yang perlu direspons melalui desain pembelajaran.

Temuan ini memperkuat konsep personalized/adaptive learning yang menekankan penyesuaian pengalaman belajar berdasarkan kebutuhan individual. Akan tetapi, penelitian ini memberikan penekanan bahwa adaptasi tidak harus sepenuhnya dilakukan oleh sistem.

Guru tetap memiliki posisi sentral sebagai pengambil keputusan pedagogis. Sistem adaptif memberikan informasi dan pilihan, sedangkan guru menentukan intervensi berdasarkan konteks peserta didik.

Dengan demikian, model yang ditawarkan dapat dikembangkan berdasarkan prinsip: asesmen awal → identifikasi kebutuhan → rekomendasi jalur belajar → aktivitas AR → umpan balik → evaluasi → penyesuaian.

3. AR sebagai Teknologi yang Memperkuat Pengalaman Belajar

Pernyataan Guru G2 bahwa AR dapat membantu menampilkan objek dari berbagai sisi menunjukkan bahwa nilai utama AR terletak pada kemampuannya menyediakan representasi visual dan interaktif.

Namun, Guru G3 juga mengingatkan risiko bahwa peserta didik dapat lebih tertarik pada efek AR daripada materi. Temuan ini penting karena menunjukkan bahwa teknologi yang menarik belum tentu identik dengan pembelajaran yang efektif.

Dengan demikian, penelitian ini menegaskan prinsip bahwa AR harus mengikuti tujuan pembelajaran. Teknologi dipilih karena memberikan nilai tambah terhadap pemahaman konsep, bukan semata-mata karena teknologi tersebut bersifat baru atau menarik.

4. TPACK sebagai Jembatan antara Teknologi dan Pedagogi

Pernyataan Guru G1 bahwa guru harus memahami materi, tujuan pembelajaran, dan cara siswa menggunakan AR menunjukkan pentingnya TPACK dalam pengembangan model.

Guru yang hanya memiliki kemampuan teknis dapat menggunakan AR, tetapi belum tentu mampu menggunakannya secara pedagogis. Sebaliknya, guru yang memahami materi dan pedagogi tetapi tidak memiliki literasi teknologi juga akan menghadapi kesulitan dalam mengoptimalkan AR.

Karena itu, model yang dikembangkan perlu mengintegrasikan tiga aspek tersebut secara bersamaan: Content Knowledge → Pedagogical Knowledge → Technological Knowledge → TPACK → Implementasi AR Adaptif.

5. Model Harus Sensitif terhadap Konteks Kota Gorontalo

Temuan Kepala Sekolah KS1 bahwa model harus mempertimbangkan kemampuan guru, akses peserta didik, dan kondisi sekolah memperkuat pentingnya pendekatan context-sensitive model development.

Model pembelajaran digital yang dikembangkan untuk Kota Gorontalo sebaiknya tidak mengasumsikan bahwa semua sekolah mempunyai kondisi perangkat, internet, dan kompetensi digital yang sama.

Oleh karena itu, karakteristik model yang dihasilkan perlu mencakup:

1. penggunaan perangkat yang relatif mudah diakses;
2. desain AR yang ringan;
3. alternatif pembelajaran ketika koneksi internet terbatas;
4. panduan penggunaan bagi guru;
5. orientasi bagi peserta didik;
6. mekanisme adaptasi pembelajaran;
7. dukungan dan pendampingan implementasi.

6. Implikasi Teoretis

Secara teoretis, penelitian ini menghasilkan hubungan konseptual antara empat komponen: TPACK + AR + Adaptive Learning + Digital Transformation. Keempat komponen tersebut tidak berdiri sendiri. TPACK menjadi dasar kompetensi guru dalam memilih dan menggunakan teknologi. AR menjadi media untuk meningkatkan visualisasi dan interaksi. Adaptive Learning menjadi mekanisme untuk menyesuaikan pengalaman belajar. Digital Transformation menjadi konteks perubahan sistem dan praktik pendidikan. Dengan demikian, model konseptual penelitian dapat dirumuskan: Analisis karakteristik peserta didik → asesmen awal → pemetaan kebutuhan belajar → pemilihan konten → desain pedagogis berbasis TPACK → integrasi AR → jalur pembelajaran adaptif → umpan balik → evaluasi → penyesuaian pembelajaran.

Model tersebut menjadi proposisi utama bahwa transformasi digital pendidikan akan lebih bermakna ketika teknologi AR diintegrasikan melalui

kompetensi TPACK guru dan digunakan untuk menyediakan pengalaman belajar yang adaptif terhadap kebutuhan peserta didik.

7. Implikasi Praktis

Berdasarkan temuan, pengembangan model memiliki beberapa implikasi praktis. Pertama, guru perlu mendapatkan pelatihan berbasis praktik, bukan hanya pelatihan teknis penggunaan AR. Kedua, sekolah perlu menyediakan dukungan infrastruktur dan pendampingan. Ketiga, peserta didik perlu diberikan orientasi penggunaan teknologi. Keempat, model perlu memiliki mekanisme adaptasi berdasarkan kemampuan dan respons peserta didik. Kelima, validasi harus melibatkan pengguna langsung, yaitu guru dan peserta didik, serta pihak pengelola dan praktisi teknologi. Keenam, implementasi perlu dilakukan secara bertahap melalui: Analisis kebutuhan → Prototype → Validasi ahli → Uji coba terbatas → Evaluasi pengguna → Revisi → Implementasi lebih luas.

8. Sintesis Model Temuan

Tema	Kutipan Informan	Makna Temuan	Implikasi Model
Transformasi digital	“Teknologi itu membantu guru menjelaskan materi...” – Guru G1	Teknologi harus berorientasi pada pembelajaran	Learning-centered digital transformation
Pembelajaran adaptif	“Dalam satu kelas kemampuan siswa tidak sama...” – Guru G3	Terdapat keragaman kemampuan belajar	Asesmen dan jalur belajar adaptif
AR	“AR akan sangat membantu...” – Guru G2	AR memperkuat visualisasi	AR untuk materi yang membutuhkan visualisasi
TPACK	“Guru tidak cukup hanya bisa menggunakan aplikasi...” – Guru G1	Kompetensi teknologi harus terintegrasi dengan pedagogi dan konten	TPACK sebagai dasar desain
Literasi digital	“Tidak semua siswa langsung bisa...” – Guru G2	Kesiapan digital peserta didik berbeda	Tutorial dan scaffolding
Validasi	“Jangan hanya dilihat bagus atau tidak medianya...” – KS1	Validasi harus kontekstual	Validasi teknis, pedagogis, dan pengguna
Hambatan	“Kendala ... perangkat dan koneksi internet.” – Guru G4	Infrastruktur menjadi faktor implementasi	Desain fleksibel dan alternatif offline
Keberlanjutan	“Sebaiknya tidak langsung diterapkan...” – KS1	Implementasi perlu bertahap	Pilot–evaluasi–revisi–scale-up

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa pengembangan dan validasi model pembelajaran digital adaptif berbasis Augmented Reality (AR) dan Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) di Kota Gorontalo perlu diarahkan pada integrasi teknologi, pedagogi, konten, dan kebutuhan individual peserta didik secara kontekstual. Temuan penelitian menunjukkan bahwa transformasi digital tidak cukup dimaknai sebagai penggunaan perangkat atau aplikasi, tetapi sebagai perubahan praktik pembelajaran yang mampu merespons keberagaman

kemampuan, pengalaman, dan kebutuhan peserta didik melalui asesmen, jalur belajar adaptif, umpan balik, serta pengalaman visual-interaktif berbasis AR. TPACK berperan sebagai landasan kompetensi guru dalam memastikan AR digunakan sesuai tujuan dan karakteristik materi, sementara keberhasilan implementasinya dipengaruhi oleh kesiapan guru dan peserta didik, ketersediaan perangkat dan konektivitas, serta dukungan kelembagaan. Secara teoretis, penelitian ini berkontribusi melalui integrasi AR, pembelajaran adaptif, dan TPACK dalam kerangka transformasi pendidikan digital yang berpusat pada peserta didik; secara praktis, model perlu dikembangkan secara fleksibel, divalidasi dengan melibatkan pengguna, dan diterapkan secara bertahap melalui uji coba, evaluasi, dan penyempurnaan; sedangkan secara kebijakan, hasil penelitian menegaskan pentingnya penguatan kompetensi digital-pedagogis guru, dukungan infrastruktur, dan pendampingan kelembagaan. Penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan dan menguji prototipe model secara lebih luas untuk memperoleh bukti empiris mengenai usability, efektivitas, keterlibatan peserta didik, dan keberlanjutan implementasinya pada berbagai karakteristik satuan pendidikan.

DAFTARPUSTAKA

- [1] E. Mukul and G. Büyüközkan, "Digital transformation in education: A systematic review of education 4.0," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 194, 2023, doi: 10.1016/j.techfore.2023.122664.
- [2] T. T. Bui and T. S. Nguyen, "The survey of digital transformation in education: A systematic review," *Int. J. TESOL Educ.*, vol. 3, no. 4, pp. 32–51, 2023, doi: 10.54855/ijte.23343.
- [3] R. I. Fariani, K. Junus, and H. B. Santoso, "A systematic literature review on personalised learning in the higher education context," *Technol. Knowl. Learn.*, vol. 28, no. 2, pp. 449–476, 2023, doi: 10.1007/s10758-022-09628-4.
- [4] I. Yuyun and D. Suherdi, "Components and strategies for personalized learning in higher education: A systematic review," in *Proceedings of the 10th International Conference on Asian and Asian-American Studies*, 2023. doi: 10.2991/978-2-38476-054-1_23.
- [5] E. du Plooy, D. Casteleijn, and D. Franzsen, "Personalized adaptive learning in higher education: A scoping review of key characteristics and impact on academic performance and engagement," *Heliyon*, vol. 10, no. 21, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e39630.
- [6] D. Hooshyar, X. Weng, P. J. Sillat, K. Tammets, M. Wang, and R. Hämmäläinen, "The effectiveness of personalized technology-enhanced learning in higher education: A meta-analysis with association rule mining," *Comput. Educ.*, vol. 223, 2024, doi: 10.1016/j.compedu.2024.105169.
- [7] K. B. Bayly-Castaneda, M. S. Ramirez-Montoya, and A. Morita-Alexander, "Crafting personalized learning paths with AI for lifelong learning: A systematic literature review," *Front. Educ.*, vol. 9, 2024, doi: 10.3389/educ.2024.1424386.

- [8] Y. Zhang, "Instructional leadership and teacher development: Evidence from secondary schools," *Teach. Teach. Educ.*, vol. 89, 2020.
- [9] A. Amores-Valencia, D. Burgos, and J. W. Branch-Bedoya, "Influence of motivation and academic performance in the use of Augmented Reality in education: A systematic review," *Front. Psychol.*, vol. 13, 2022, doi: 10.3389/fpsyg.2022.1011409.
- [10] E. L.-C. Law and M. Heintz, "Augmented reality applications for K-12 education: A systematic review from the usability and user experience perspective," *Int. J. Child-Computer Interact.*, vol. 30, 2021, doi: 10.1016/j.ijcci.2021.100321.
- [11] A. Hidayat, "Peran Kepala Sekolah dalam Meningkatkan Mutu Pembelajaran," *J. Manaj. Pendidik. Islam*, vol. 7, no. 1, 2021.
- [12] A. Sakr and T. Abdullah, "Virtual, augmented reality and learning analytics impact on learners, and educators: A systematic review," *Educ. Inf. Technol.*, vol. 29, pp. 19913–19962, 2024, doi: 10.1007/s10639-024-12602-5.
- [13] K. A. Bölek, G. De Jong, and D. Henssen, "The effectiveness of the use of augmented reality in anatomy education: A systematic review and meta-analysis," *Sci. Rep.*, vol. 11, 2021, doi: 10.1038/s41598-021-94721-4.
- [14] T. S. Maulana, "Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Realitas Tertambah Ar Melalui Pendekatan Tpack Di," *JIEMER*, vol. 4, no. 2, pp. 65–75, 2025.
- [15] M. Bulut and R. Borromeo Ferri, "A systematic literature review on augmented reality in mathematics education," *Eur. J. Sci. Math. Educ.*, vol. 11, no. 3, pp. 556–572, 2023.
- [16] M. Jibril and N. A. Adedokun-Shittu, "Enhancing education: A comprehensive framework for integrating Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) into teaching and learning," *Indones. J. Multidiscip. Res.*, vol. 4, no. 1, 2024.
- [17] T. A. Sandy, C. Ismaniati, S. Abbas, and Z. C. A. Dalu, "Research trends based on Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) in Indonesia: A systematic review," *Epistema*, vol. 4, no. 1, pp. 9–21, 2023, doi: 10.21831/ep.v4i1.59486.
- [18] Á. A. Jiménez Sierra, J. M. Ortega Iglesias, J. Cabero-Almenara, and A. Palacios-Rodríguez, "Development of the teacher's technological pedagogical content knowledge (TPACK) from the Lesson Study: A systematic review," *Front. Educ.*, vol. 8, 2023, doi: 10.3389/educ.2023.1078913.
- [19] D. Iskandar, "Integration of Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) learning methods in the Learning Management System as an effort to improve educator competence," *JTP—Jurnal Teknol. Pendidik.*, vol. 24, no. 3, 2022, doi: 10.21009/jtp.v24i3.31773.
- [20] A. H. Rahayu, A. Widodo, U. S. Saud, and Muslim, "Improving Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) of elementary school teachers through training with a collaborative, practical and reflective approach," *Mimb. Sekol. Dasar*, vol. 11, no. 4, 2024.
- [21] R. P. Wijaya, Komarudin, and A. Badrujaman, "Digital transformation of education in Indonesia: A conceptual framework for evaluation," *J. Educ. J. Educ. Stud.*, vol. 10, no. 2, 2026, doi: 10.30983/educative.v10i2.10157.
- [22] S. Safitri, A. Cahyadi, and H. Yaqin, "Inovasi dan Difusi Pemanfaatan Teknologi Informasi dalam Manajemen Pendidikan Islam," *Al-Madrasah J. Pendidik. Madrasah Ibtidaiyah*, vol. 7, no. 4, p. 1706, 2023, doi: 10.35931/am.v7i4.2678.

- [23] M. C. Akbar and S. Armiyanti, "Character Education in the Digital Era: Overcoming Hate Speech Through Social Media Ethics Awareness Among Students," *Int. J. Econ. Technol. Soc. Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 279–287, 2023.
- [24] H. Ahaya, I. R. N. Hula, and R. B. H. Bahri, "Penerapan Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK) dalam memenuhi kebutuhan Guru Penggerak PAI," *IHSANIKA J. Pendidik. Agama Islam*, vol. 3, no. 2, pp. 9–25, 2024, doi: 10.59841/ihsanika.v3i2.2413.
- [25] T. S. Maulana, "Pengembangan media pembelajaran berbasis realitas ditambah AR melalui pendekatan TPACK di lingkungan pendidikan," *J. Islam. Educ. Manag. Res.*, vol. 4, no. 2, pp. 65–75, 2025, doi: 10.58194/jiemr.v3i2.3401.
- [26] D. Burke, H. Crompton, and C. Nickel, "The use of extended reality (XR) in higher education: A systematic review," *TechTrends*, vol. 69, pp. 998–1011, 2025, doi: 10.1007/s11528-025-01092-y.
- [27] H. Balalle, "Learning beyond realities: Exploring virtual reality, augmented reality, and mixed reality in higher education—a systematic literature review," *Discov. Educ.*, vol. 4, 2025, doi: 10.1007/s44217-025-00559-7.
- [28] S. Setiyati, T. Tarman, M. Metta, and W. Warman, "Perencanaan Strategik dalam Membangun Mutu Pendidikan di Madrasah Syaichona Kholil Teluk Pandan," *J. Tarb. Dan Ilmu Kegur. Borneo*, vol. 5, no. 2, pp. 267–281, 2024.
- [29] P. Hallinger and W.-C. Wang, *Assessing instructional leadership with the principal instructional management rating scale*. Springer, 2021.
- [30] N. Alajlani, M. Crabb, and I. Murray, "A systematic review in understanding stakeholders' role in developing adaptive learning systems," *J. Comput. Educ.*, vol. 11, pp. 901–920, 2024, doi: 10.1007/s40692-023-00283-x.
- [31] S. Mtisi, "The qualitative case study research strategy as applied on a rural enterprise development doctoral research project," *Qual. Rep.*, vol. 27, no. 9, pp. 2768–2782, 2022, doi: 10.46743/2160-3715/2022.5663.
- [32] S. in E. Evaluation, "Assessing student learning during simulations in education: Methodological opportunities and challenges when applying a longitudinal case study design," *Stud. Educ. Eval.*, vol. 72, p. 101129, 2022, doi: 10.1016/j.stueduc.2022.101129.
- [33] I. de L. González-Salgado, J. Rivera-Navarro, M. Gutiérrez-Sastre, P. Conde, and M. Franco, "Conducting member checking within a qualitative case study on health-related behaviours in a large European city: Appraising interpretations and co-constructing findings," *Health (Irvine. Calif.)*, vol. 28, no. 1, pp. 3–21, 2024, doi: 10.1177/13634593221109682.
- [34] V. Braun and V. Clarke, "Can I use TA? Should I use TA? Should I not use TA? Comparing reflexive thematic analysis and other pattern-based qualitative analytic approaches," *Couns. Psychother. Res.*, vol. 21, no. 1, pp. 37–47, 2021, doi: 10.1002/capr.12360.
- [35] D. Byrne, "A worked example of Braun and Clarke's approach to reflexive thematic analysis," *Qual. Quant.*, vol. 56, pp. 1391–1412, 2022, doi: 10.1007/s11135-021-01182-y.