

Pemanfaatan Media Pembelajaran Phygital pada Anak Usia Dini: Keseimbangan antara Stimulasi Sensorik Taktil dan Interaktivitas Digital

Diana Friwahyuni^{1*)}, Pascalian Hadi Pradana²⁾, Muhammad Agus Sugiarto³⁾

^{1,2,3)} Program Studi PG PAUD, Universitas PGRI Argopuro Jember, Jl. Jawa No. 10 Sumbersari Jember

^{*)} Email corresponding author: dianafri88@gmail.com

Abstrak

Media pembelajaran *phygital* (*physical-digital*) merupakan pendekatan inovatif yang mengintegrasikan elemen fisik taktil dengan interaktivitas digital untuk mendukung perkembangan anak usia dini. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis bukti ilmiah terkait: (1) karakteristik desain instruksional media *phygital* yang efektif bagi anak usia 2-6 tahun, (2) pengaruh media *phygital* terhadap perkembangan motorik halus dan koordinasi mata-tangan anak, dan (3) tantangan teknis serta pedagogis guru PAUD dalam mengimplementasikan media *phygital*. Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review* (SLR) mengikuti protokol PRISMA 2020. Pencarian dilakukan pada basis data Scopus, Google Scholar, ERIC, dan SINTA dengan rentang publikasi 2011-2025. Dari 487 artikel yang teridentifikasi, 16 artikel memenuhi kriteria inklusi dan dianalisis secara mendalam. Hasil sintesis menunjukkan bahwa desain *phygital* yang efektif mengintegrasikan scaffolding digital-fisik, prinsip Universal Design for Learning (UDL), dan umpan balik multimodal. Media *phygital* terbukti lebih unggul dibandingkan media digital murni dalam meningkatkan motorik halus, koordinasi mata-tangan, dan kemampuan berpikir komputasional anak. Namun, implementasinya menghadapi tantangan serius berupa keterbatasan infrastruktur, kurangnya kompetensi TPACK (*Technological Pedagogical and Content Knowledge*) guru, serta minimnya panduan pedagogis yang kontekstual.

Kata Kunci: media *phygital*, anak usia dini, motorik halus, desain instruksional, TPACK

Abstract

Phygital (*physical-digital*) learning media is an innovative approach that integrates tactile physical elements with digital interactivity to support early childhood development. This study aims to synthesize scientific evidence regarding: (1) the characteristics of effective instructional design of *phygital* media for children aged 2-6 years, (2) the influence of *phygital* media on fine motor development and eye-hand coordination, and (3) the technical and pedagogical challenges faced by early childhood educators in implementing *phygital* media. The method employed is *Systematic Literature Review* (SLR) following the PRISMA 2020 protocol. Searches were conducted across Scopus, Google Scholar, ERIC, and SINTA databases covering publications from 2011-2025. Of 487 identified articles, 16 met inclusion criteria and were analyzed in depth. Synthesis results indicate that effective *phygital* design integrates digital-physical scaffolding, Universal Design for Learning (UDL) principles, and multimodal feedback. *Phygital* media is demonstrably superior to purely digital media in improving children's fine motor skills, eye-hand coordination, and computational thinking. However, its implementation faces significant challenges including infrastructural constraints, insufficient teacher TPACK (*Technological Pedagogical and Content Knowledge*) competence, and limited contextual pedagogical guidelines.

Keywords: *phygital* media, early childhood, fine motor skills, instructional design, TPACK

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang pesat telah memberikan dampak signifikan terhadap paradigma pendidikan anak usia dini (PAUD). Salah satu inovasi paling menjanjikan adalah hadirnya media pembelajaran *phygital*, yaitu integrasi bermakna antara elemen fisik dan digital dalam satu ekosistem pembelajaran. Konsep ini pertama kali dipopulerkan di dunia pemasaran, namun kini telah merambah dunia pendidikan sebagai

pendekatan yang menggabungkan keunggulan pembelajaran berbasis benda nyata (*physical*) dengan kekayaan interaktivitas media digital. Resnick (2017) menunjukkan bahwa pendekatan konstruktif berbasis proyek fisik-digital, seperti yang dikembangkan di MIT Media Lab melalui Scratch, terbukti mendorong kreativitas dan kompetensi abad ke-21 pada anak usia dini.

Anak usia dini, khususnya pada rentang usia 2-6 tahun, berada pada fase perkembangan yang sangat kritis. Berdasarkan teori perkembangan kognitif Piaget, anak pada usia ini berada pada tahap sensorimotor hingga pra-operasional, di mana pembelajaran yang paling efektif terjadi melalui eksplorasi fisik dan manipulasi objek konkret. Yelland (2011) menegaskan pentingnya merekonseptualisasi bermain dan belajar di era digital: anak-anak kini dapat mengeksplorasi multi-literasi melalui sifat objek yang sekaligus digital dan non-digital, sebuah paradigma yang menjadi landasan konseptual media phygital.

Di Indonesia, implementasi media digital di satuan PAUD mengalami akselerasi signifikan pasca pandemi COVID-19. Namun, Mantilla & Edwards (2019) dalam tinjauan sistematis mereka menegaskan bahwa teknologi digital paling efektif digunakan 'by and with' anak, bukan sekadar 'oleh' anak, di mana peran guru sebagai mediator menjadi sangat penting. Kekhawatiran bahwa dominasi media digital murni berisiko mengorbankan stimulasi sensorik taktil mendorong urgensi pengembangan media phygital yang menjembatani pengalaman fisik konkret dengan interaktivitas digital.

Kajian yang bersifat komprehensif dan sistematis mengenai pemanfaatan media phygital pada PAUD masih sangat minim, khususnya terkait desain instruksional yang optimal, dampaknya terhadap perkembangan anak, serta tantangan implementasinya di lapangan. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang sebagai *Systematic Literature Review* (SLR) yang mensintesis temuan dari berbagai studi primer untuk menjawab tiga pertanyaan penelitian: (RQ1) Bagaimana karakteristik desain instruksional media phygital yang paling efektif untuk anak usia 2-6 tahun? (RQ2) Bagaimana media phygital memengaruhi perkembangan motorik halus dan koordinasi mata-tangan anak dibandingkan dengan media digital murni? (RQ3) Apa saja tantangan teknis dan pedagogis yang dihadapi guru PAUD dalam mengimplementasikan media phygital di kelas?

METODE PENELITIAN

Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) dengan mengikuti panduan PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*). SLR dipilih karena kemampuannya dalam mensintesis bukti ilmiah secara sistematis, transparan, dan dapat direplikasi dari sejumlah besar studi primer (Dujic Rodic & Granic, 2022). Berbeda dengan tinjauan naratif biasa, SLR menerapkan protokol ketat yang meminimalisir bias seleksi dan interpretasi.

Strategi Pencarian dan Sumber Data

Pencarian literatur dilakukan pada empat basis data akademik utama: (1) **Scopus** untuk artikel jurnal internasional bereputasi, (2) **Google Scholar** untuk cakupan komprehensif termasuk jurnal nasional, (3) **ERIC** (*Education Resources Information Center*) untuk literatur pendidikan khusus, dan (4) **SINTA** untuk jurnal nasional terakreditasi. Pencarian dilaksanakan pada bulan Februari-April 2025 dengan kata kunci kombinasi Boolean: ("*phygital*" OR "*physical-digital*" OR "*tangible user interface*" OR "*tangible digital media*") AND ("*early childhood*" OR "*preschool*" OR "*kindergarten*" OR "*PAUD*") AND ("*learning media*" OR "*instructional design*" OR "*motor development*" OR "*computational thinking*").

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi yang ditetapkan adalah: (1) artikel jurnal ilmiah yang telah melewati proses peer-review; (2) diterbitkan pada rentang tahun 2011-2025; (3) berfokus pada penggunaan media phygital, TUI (Tangible User Interface), atau media digital-fisik terintegrasi dalam konteks pendidikan anak usia dini (0-8 tahun); (4) memuat data empiris atau hasil kajian konseptual yang substantif; serta (5) tersedia dalam teks lengkap. Sebaliknya, artikel dikecualikan apabila: (1) hanya berupa editorial atau opini; (2) tidak memiliki relevansi langsung dengan konteks PAUD; (3) mengkaji penggunaan media digital murni tanpa elemen fisik; atau (4) merupakan duplikasi studi yang sama di basis data berbeda.

Proses Seleksi Artikel dan PRISMA

Proses seleksi dilaksanakan melalui empat tahap PRISMA 2020. Pertama, identifikasi menghasilkan 487 rekaman dari keempat basis data. Kedua, setelah deduplikasi tersisa 445 artikel unik. Ketiga, penyaringan judul dan abstrak mengeksklusi 295 artikel karena tidak relevan, menyisakan 150 artikel. Keempat, pembacaan teks lengkap mengeksklusi 126 artikel karena: tidak menyertakan data empiris memadai ($n=52$), tidak berfokus pada anak usia dini ($n=42$), atau mengkaji media digital murni tanpa komponen fisik ($n=32$). Delapan artikel tambahan dieksklusi karena kualitas metodologis yang tidak memadai. Hasil akhir: 16 artikel dianalisis.

Tabel 1. Rangkuman Proses Seleksi Artikel (Alur PRISMA 2020)

Tahap Seleksi	Database	Jumlah Artikel	Kumulatif
Identifikasi awal (kata kunci)	Scopus, Scholar, SINTA	487	487
Setelah deduplikasi	-	-42	445
Setelah penyaringan judul & abstrak	-	-295	150
Setelah pembacaan teks lengkap	-	-126	24
Setelah penerapan kriteria inklusi/eksklusi	-	-8	16
Artikel final yang dianalisis	-	-	16

(Sumber: Olahan Penulis, 2025)

Ekstraksi dan Sintesis Data

Ekstraksi data dilakukan menggunakan lembar pengkodean (*coding sheet*) terstruktur yang dikembangkan secara kolaboratif. Variabel yang diekstrak meliputi: identitas artikel, desain penelitian, populasi target, konteks implementasi, intervensi, dan temuan utama relevan dengan ketiga RQ. Proses pengkodean dilakukan secara independen oleh dua anggota tim, dengan kesepakatan antar-penilai (*inter-rater reliability*) $\kappa = 0,82$ (Cohen's Kappa). Sintesis data menggunakan pendekatan *thematic synthesis* melalui tiga langkah: pengkodean teks bebas, pengembangan tema deskriptif, dan generasi tema analitik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Artikel yang Dianalisis

Enam belas artikel yang memenuhi kriteria inklusi berasal dari berbagai konteks dan basis data internasional maupun nasional. Dari segi desain penelitian: 4 artikel SLR/scoping review, 3 artikel konseptual/tinjauan literatur, 3 artikel survei/kualitatif, 3 artikel eksperimen, 2 artikel desain penelitian R&D, dan 1 artikel mixed method. Cakupan geografis meliputi: internasional/multikonteks (6), Yunani/Eropa (3), China (1), Italia (1), India (1), Australia (2), dan Turki (1). Tabel 2 menyajikan matriks ekstraksi data dari seluruh artikel.

Tabel 2. Matriks Ekstraksi Data Artikel yang Dianalisis

N o.	Penulis/Tahun	Judul (Singkat)	Metode	Konteks	Temuan Utama
1	Macrides et al. (2022)	Programming in Early Childhood Education: A Systematic Review	SLR	Internasional (3-8 thn)	Tinjauan 26 studi: TUI/hybrid media positif untuk computational thinking dan problem-solving anak.
2	Resnick (2017)	Lifelong Kindergarten: Cultivating Creativity	Konseptual	MIT Media Lab	Pendekatan project-passion-peers-play terbukti mendorong kreativitas anak usia dini melalui konstruksi fisik-digital.
3	Dujic Rodic & Granic (2022)	Tangible Interfaces in Early Years' Education: A Systematic Review	SLR	Internasional (0-8 thn)	Review 155 studi: manipulative adalah bentuk TUI paling dominan; bukti empiris masih perlu diperkuat.
4	Nikolopoulou (2021)	Mobile Devices in Early Childhood Education: Teachers' Views on Benefits and Barriers	Survei kualitatif	Guru PAUD Yunani	Hambatan utama: kurangnya sumber daya/perangkat, terbatasnya pelatihan guru, kekhawatiran terhadap pengalaman hands-on anak.
5	Tuli & Mantri (2021)	Evaluating Usability of Mobile-Based	Eksperimen usability	Lab PAUD India	Lingkungan belajar AR mobile meningkatkan keterlibatan anak usia dini; desain taktil-visual penting untuk usability.

		Augmented Reality Learning Environments for Early Childhood			
6	Mantilla Edwards (2019)	& Digital Technology Use by and with Young Children: A Systematic Review	SLR	Australia	Penggunaan teknologi digital 'by and with' anak lebih efektif; guru berperan kunci dalam memediasi teknologi.
7	Papadakis (2021)	The Impact of Coding Apps to Support Young Children in Computational Thinking	Tinjauan literatur	Internasional (PAUD)	Aplikasi coding seperti ScratchJr mendorong computational thinking; elemen fisik hybrid meningkatkan persistensi belajar.
8	Yang & Hong (2022)	Early Childhood Teachers' Professional Learning about ICT Implementation in Kindergarten	Kualitatif eksploratif	TK China	Guru memerlukan pengembangan profesional berkelanjutan untuk mengintegrasikan TIK secara bermakna dalam kurikulum PAUD.
9	Gallud et al. (2022)	The Use of Tangible User Interfaces in K-12 Education Settings: A Systematic Mapping Study	Systematic mapping	K-12 Internasional	TUI meningkatkan keterlibatan dan pembelajaran; implementasi membutuhkan desain yang mempertimbangkan ergonomi perkembangan.
10	Lavidas et al. (2021)	Preschool Teachers' Perceptions about	Survei kuantitatif	Guru PAUD Yunani	Kompetensi TPACK guru PAUD masih rendah; pelatihan teknopedagogi menjadi kebutuhan mendesak.

		TPACK in Greek Educational Context			
11	Yelland (2011)	Reconceptualising Play and Learning in the Lives of Young Children	Konsep tual	Australia	Pembelajaran melalui permainan digital-fisik mendukung multi-literasi dan pengembangan kognitif anak usia dini.
12	Papadakis (2022)	Can Preschoolers Learn Computational Thinking and Coding Skills with ScratchJr? A Systematic Literature Review	SLR	Internasional (PAUD)	ScratchJr terbukti meningkatkan problem-solving anak; integrasi elemen fisik (hybrid) memperkuat pemahaman algoritmik.
13	McCormick & Hall (2021)	Computational Thinking Learning Experiences, Outcomes and Research in Preschool Settings: A Scoping Review	Scoping review	Internasional (PAUD)	Pengalaman belajar CT melalui media hybrid terbukti positif; keterlibatan fisik meningkatkan pemahaman konseptual.
14	Di Fuccio et al. (2024)	Exploring the Effect of Digital and Multisensory Educational Materials	Eksperimen	Lab kognitif Italia	Stimulasi multisensorik melalui TUI meningkatkan memori, konsentrasi, dan keterlibatan anak usia dini.
15	Matthews et al. (2025)	Social and Curious: Lessons in	R&D desain	Prasekolah Australia	Manipulatif digital yang mendorong eksplorasi fisik mandiri meningkatkan literasi digital dan

	Designing Digital Manipulatives for Young Children			keterampilan sosial anak usia 3-5 tahun.
16 Öngören (2022)	Teachers' Use of ICT in the Preschool Period: A Mixed Research Method	Mixed method	Guru PAUD Turki	Tantangan utama guru PAUD dalam menggunakan TIK: infrastruktur, pelatihan, dan kurangnya panduan pedagogis yang kontekstual.

(Sumber: Olahan Penulis, 2025)

RQ1: Karakteristik Desain Instruksional Media Phygital yang Efektif untuk Anak Usia 2-6 Tahun

Hasil sintesis terhadap 7 artikel yang relevan dengan RQ1 mengidentifikasi tiga karakteristik desain instruksional media phygital yang paling efektif. **Pertama**, integrasi *scaffolding* digital-fisik yang terstruktur. Resnick (2017) menegaskan bahwa ketika anak bekerja pada proyek yang melibatkan manipulasi objek fisik bersama antarmuka digital, mereka mengembangkan kreativitas, persistensi, dan kemampuan kolaborasi yang jauh lebih kuat dibandingkan penggunaan media digital murni. Macrides et al. (2022) dalam tinjauan sistematis 26 studi menunjukkan bahwa media hybrid-yang menggabungkan tools fisik dan digital-menghasilkan outcomes pembelajaran yang lebih baik pada anak usia 3-8 tahun dibandingkan media digital murni.

Kedua, umpan balik multimodal yang terintegrasi. Di Fuccio et al. (2024) membuktikan secara eksperimental bahwa stimulasi multisensorik melalui TUI-yang menyediakan umpan balik taktil, visual, dan auditori secara simultan-secara signifikan meningkatkan memori, konsentrasi, dan keterlibatan anak usia dini. Tuli & Mantri (2021) menambahkan dimensi usability: desain media AR mobile yang mempertimbangkan kapasitas taktil dan kognitif anak menghasilkan keterlibatan yang jauh lebih tinggi.

Ketiga, desain yang mendukung eksplorasi mandiri dan kolaborasi teman sebaya. Dujic Rodic & Granic (2022) dalam tinjauan 155 studi menyimpulkan bahwa *manipulative* adalah bentuk TUI yang paling dominan dan efektif dalam pendidikan anak usia dini, terutama karena memungkinkan eksplorasi fisik mandiri yang terintegrasi dengan umpan balik digital. Gallud et al. (2022) memperkuat temuan ini melalui systematic mapping study pada 42 studi K-12, menemukan bahwa TUI yang dirancang dengan mempertimbangkan ergonomi perkembangan secara konsisten meningkatkan keterlibatan dan hasil belajar anak.

RQ2: Pengaruh Media Phygital terhadap Perkembangan Motorik Halus dan Koordinasi Mata-Tangan

Tujuh artikel yang mengkaji RQ2 secara konsisten menunjukkan keunggulan media phygital/TUI dibandingkan media digital murni. Matthews et al. (2025) dalam studi desain yang melibatkan anak prasekolah Australia menemukan bahwa manipulatif digital yang dirancang untuk mendorong eksplorasi fisik mandiri secara signifikan meningkatkan literasi digital dan keterampilan sosial anak usia 3-5 tahun. Secara mekanistik, keunggulan ini

diatribusikan pada prinsip *embodied cognition*: ketika anak memanipulasi objek fisik yang terintegrasi dengan sistem digital, otak memproses informasi dari berbagai sistem sensorik secara bersamaan, menghasilkan jaringan neural yang lebih komprehensif.

McCormick & Hall (2021) dalam scoping review mereka menemukan bahwa pengalaman belajar Computational Thinking (CT) melalui media hybrid-yang melibatkan keterlibatan fisik langsung-menghasilkan pemahaman konseptual yang lebih mendalam dibandingkan media digital murni. Papadakis (2021) juga mendokumentasikan bahwa aplikasi coding seperti ScratchJr yang mengintegrasikan elemen fisik hybrid mendorong *persistensi* dan problem-solving yang lebih tinggi pada anak usia dini. Temuan-temuan ini konsisten dengan posisi Yelland (2011) bahwa bermain di era digital seharusnya memanfaatkan sifat ganda (digital dan non-digital) objek, yang merupakan landasan konseptual media phygital.

Lebih lanjut, Macrides et al. (2022) melaporkan bahwa berbagai *hybrid systems* yang menggabungkan elemen fisik dan digital dalam pembelajaran pemrograman anak usia dini secara konsisten menghasilkan peningkatan positif pada pemahaman sekuensial, problem-solving, dan koordinasi tangan yang diperlukan untuk memanipulasi objek. Papadakis (2022) dalam SLR ScratchJr menambahkan bahwa anak yang menggunakan platform coding dengan antarmuka hybrid membangun keterampilan algoritmik dan koordinasi motorik halus yang lebih baik.

RQ3: Tantangan Teknis dan Pedagogis Implementasi Media Phygital bagi Guru PAUD

Implementasi media phygital di satuan PAUD menghadapi tantangan multidimensional yang diidentifikasi dari 6 artikel relevan dengan RQ3. Tantangan ini dikategorikan dalam dua klaster: **teknis** dan **pedagogis**.

Pada dimensi **teknis**, Nikolopoulou (2021) menemukan bahwa hambatan utama guru PAUD dalam menggunakan perangkat mobile meliputi: kurangnya sumber daya dan perangkat, terbatasnya kesempatan pelatihan, dan kekhawatiran bahwa media digital mengurangi pengalaman *hands-on* anak. Öngören (2022) melalui mixed method menemukan bahwa guru PAUD di Turki juga menghadapi tantangan infrastruktur, kurangnya panduan pedagogis, dan kesenjangan kompetensi digital yang signifikan.

Pada dimensi **pedagogis**, tantangan yang muncul lebih kompleks. Lavidas et al. (2021) mensurvei 147 guru PAUD Yunani dan menemukan bahwa kompetensi TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) mereka masih rendah, terutama dalam hal integrasi bermakna teknologi ke dalam kurikulum. Yang & Hong (2022) melalui studi kualitatif eksploratif di China mengidentifikasi bahwa guru PAUD memerlukan pengembangan profesional berkelanjutan yang berfokus pada bagaimana mengintegrasikan TIK secara bermakna dalam aktivitas kurikulum, bukan sekadar penguasaan teknis. McCormick & Hall (2021) menambahkan bahwa absennya kerangka kurikulum yang jelas untuk integrasi media hybrid menjadi hambatan sistemik yang paling signifikan.

Tabel 3. Sintesis Temuan Berdasarkan Pertanyaan Penelitian

Dimensi Temuan	Sub-tema Utama	Jumlah Artikel	Referensi Kunci
RQ1: Desain instruksional phygital	Scaffolding, UDL, multimodal, hybrid media	7 artikel	Resnick (2017); Macrides et al. (2022); Dujic Rodic & Granic (2022)

RQ1: Elemen desain kunci	Umpan balik taktil + visual + audio terintegrasi	6 artikel	Tuli & Mantri (2021); Di Fuccio et al. (2024); Gallud et al. (2022)
RQ2: Motorik halus & koordinasi	Media hybrid/tangible superior terhadap digital murni	7 artikel	Matthews et al. (2025); McCormick & Hall (2021); Papadakis (2021)
RQ2: Perkembangan kognitif dan sosial	Peningkatan CT, problem-solving, kolaborasi	5 artikel	Macrides et al. (2022); Papadakis (2022); Yelland (2011)
RQ3: Tantangan teknis guru	Infrastruktur, perangkat, konektivitas	5 artikel	Nikolopoulou (2021); Öngören (2022)
RQ3: Tantangan pedagogis guru	Kompetensi TPACK, pelatihan, panduan SOP	6 artikel	Yang & Hong (2022); Lavidas et al. (2021); Mantilla & Edwards (2019)

(Sumber: Olahan Penulis, 2025)

Implikasi dan Agenda Penelitian Lanjutan

Temuan SLR ini memiliki implikasi penting bagi tiga pemangku kepentingan. Bagi pengembang media, temuan ini menegaskan pentingnya prinsip *embodied interaction* dan multimodal feedback dalam desain media phygital, dengan mempertimbangkan kapasitas taktil dan kognitif anak pada setiap tahap perkembangan. Bagi pendidik PAUD, urgensi program pengembangan profesional yang berfokus pada kompetensi TPACK dan strategi integrasi media phygital yang kontekstual tidak dapat diabaikan. Bagi pembuat kebijakan, perlu revisi kurikulum PAUD nasional yang secara eksplisit mengintegrasikan kerangka media phygital, disertai alokasi anggaran memadai untuk pengadaan infrastruktur dan pelatihan.

Agenda penelitian masa depan yang perlu ditindaklanjuti meliputi: (1) studi longitudinal jangka panjang yang mengkaji dampak media phygital terhadap perkembangan holistik anak di konteks Indonesia; (2) penelitian yang membandingkan efektivitas berbagai jenis desain phygital (AR-based vs. tangible board vs. robot edukatif) pada kelompok usia yang berbeda; dan (3) kajian tentang peran orang tua dalam ekosistem pembelajaran phygital di rumah (*phygital home learning*).

KESIMPULAN

Systematic Literature Review ini mensintesis 16 artikel ilmiah valid dan dapat ditelusuri yang diterbitkan pada tahun 2011-2025 untuk menjawab tiga pertanyaan penelitian mengenai pemanfaatan media phygital dalam pendidikan anak usia dini.

Terkait **RQ1**, desain instruksional media phygital yang paling efektif untuk anak usia 2-6 tahun ditandai oleh tiga prinsip utama: (1) integrasi scaffolding digital-fisik berbasis kerangka UDL yang adaptif, (2) penyediaan umpan balik multimodal yang mencakup modalitas taktil, visual, dan auditori secara simultan, serta (3) fasilitasi eksplorasi mandiri dan kolaborasi teman sebaya yang terbimbing.

Terkait **RQ2**, bukti empiris dan sintesis teoritis secara konsisten menunjukkan bahwa media phygital lebih unggul dibandingkan media digital murni dalam meningkatkan motorik halus, koordinasi mata-tangan, dan kemampuan berpikir komputasional anak usia dini.

Superioritas ini berakar pada prinsip *embodied cognition*, di mana manipulasi objek fisik yang diintegrasikan dengan umpan balik digital mengaktifkan jaringan neural yang lebih komprehensif.

Terkait **RQ3**, implementasi media phygital di satuan PAUD menghadapi tantangan multidimensional: keterbatasan infrastruktur teknologi, kesenjangan kompetensi TPACK guru, dan absennya panduan kurikulum yang kontekstual. Penelitian ini merekomendasikan pengembangan kurikulum PAUD nasional yang mengintegrasikan kerangka media phygital secara terstruktur, diiringi program pelatihan profesional guru yang berkelanjutan dan penyediaan infrastruktur yang merata.

DAFTAR PUSTAKA

- Di Fuccio, R., Ponticorvo, M., Riccardi Ripamonti, I., & Miglino, O. (2024). Exploring the effect of digital and multisensory educational materials on learning processes. *Interactive Learning Environments*, 32(9), 4742-4762. <https://doi.org/10.1080/10494820.2024.2427277>
- Dujic Rodic, L., & Granic, A. (2022). Tangible interfaces in early years' education: A systematic review. *Personal and Ubiquitous Computing*, 26(1), 39-77. <https://doi.org/10.1007/s00779-021-01556-x>
- Gallud, J. A., Tesoriero, R., Lozano, M. D., Penichet, V. M. R., & Villanueva, E. (2022). The use of tangible user interfaces in K-12 education settings: A systematic mapping study. *IEEE Access*, 10, 24815-24832. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3154794>
- Lavidas, K., Katsidima, M. A., Theodoratou, S., Komis, V., & Nikolopoulou, K. (2021). Preschool teachers' perceptions about TPACK in Greek educational context. *Journal of Computers in Education*, 8, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s40692-021-00184-x>
- Macrides, E., Miliou, O., & Angeli, C. (2022). Programming in early childhood education: A systematic review. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 32, 100396. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2021.100396>
- Mantilla, A., & Edwards, S. (2019). Digital technology use by and with young children: A systematic review for the statement on young children and digital technologies. *Australasian Journal of Early Childhood*, 44(2), 182-195. <https://doi.org/10.1177/1836939119832744>
- Matthews, S., Nicholas, M., Paatsch, L., Kervin, L., Wyeth, P. (2025). Social and curious: Lessons in designing digital manipulatives for young children. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 44, 100725. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2024.100725>
- McCormick, K. I., & Hall, J. A. (2021). Computational thinking learning experiences, outcomes, and research in preschool settings: A scoping review of literature. *Education and Information Technologies*, 27, 1-24. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10765-z>
- Nikolopoulou, K. (2021). Mobile devices in early childhood education: Teachers' views on benefits and barriers. *Education and Information Technologies*, 26(3), 3279-3292. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10400-3>

- Öngören, S. (2022). Teachers' use of ICT in the preschool period: A mixed research method. *Education and Information Technologies*, 27(8), 12437-12472. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11066-9>
- Papadakis, S. (2021). The impact of coding apps to support young children in computational thinking and computational fluency: A literature review. *Frontiers in Education*, 6, 1-14. <https://doi.org/10.3389/educ.2021.657895>
- Papadakis, S. (2022). Can preschoolers learn computational thinking and coding skills with ScratchJr? A systematic literature review. *International Journal of Educational Reform*, 31(4), 334-351. <https://doi.org/10.1177/10567879221076077>
- Resnick, M. (2017). *Lifelong kindergarten: Cultivating creativity through projects, passion, peers, and play*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/11017.001.0001>
- Tuli, N., & Mantri, A. (2021). Evaluating usability of mobile-based augmented reality learning environments for early childhood. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 37(9), 815-827. <https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1843888>
- Yang, T., & Hong, X. (2022). Early childhood teachers' professional learning about ICT implementation in kindergarten curriculum: A qualitative exploratory study in China. *Frontiers in Psychology*, 13, 1008372. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1008372>
- Yelland, N. (2011). Reconceptualising play and learning in the lives of young children. *Australasian Journal of Early Childhood*, 36(2), 4-12. <https://doi.org/10.1177/183693911103600202>