

**INTEGRASI MEDIA DIGITAL INTERACTIVE FLAT PANEL (IFP) DENGAN
MANIPULATIF VIRTUAL POLYPAD BERBASIS TPACK UNTUK
MENINGKATKAN MOTIVASI DAN HASIL BELAJAR MATEMATIKA MURID
SEKOLAH DASAR: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW**

Lilik Noeraini¹, Eka Titi Andaryani², Decky Avrilianda³, Nuni Widiarti⁴
^{1,2,3,4}Program Magister Pendidikan Dasar, Universitas Negeri Semarang,
¹liliknoeraini@students.unnes.ac.id, ²ekatitiandaryani@mail.unnes.ac.id,
³decky.avrilianda@mail.unnes.ac.id, ⁴nuni_kimia@mail.unnes.ac.id

ABSTRACT

This study aims to analyze the potential of integrating the Interactive Flat Panel (IFP) digital media with the Polypad virtual manipulative, based on the TPACK (Technological, Pedagogical, and Content Knowledge) framework, in enhancing elementary school students' motivation and mathematics learning outcomes through a systematic literature review. The study employed a Systematic Literature Review (SLR) following the PRISMA guidelines. The search was conducted in the Google Scholar, ERIC, Scopus, and Semantic Scholar databases, covering publications from 2021 to 2026. Of the 534 identified articles, 25 met the inclusion criteria and were analyzed thematically. The findings indicate that the use of IFP integrated with TPACK-based virtual manipulatives consistently enhances motivation and mathematics learning outcomes. Success factors include the IFP's multi-touch interactivity, the flexibility of Polypad's visual representations, and teachers' TPACK readiness to synergistically orchestrate technology, pedagogy, and mathematics content. For educational practitioners, these findings recommend that teachers not only invest in mastering technological tools, but also actively develop their TPACK competency through continuous professional training and peer collaboration to optimize the impact of IFP and Polypad integration in mathematics learning.

Keywords: interactive flat panel, polypad, TPACK, learning motivation, mathematics learning outcomes, elementary school, systematic literature review

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi integrasi media digital Interactive Flat Panel (IFP) dengan manipulatif virtual Polypad berbasis kerangka TPACK (Technological, Pedagogical, and Content Knowledge) dalam meningkatkan motivasi dan hasil belajar matematika murid sekolah dasar melalui kajian literatur sistematis. Penelitian menggunakan Systematic Literature Review (SLR) dengan pedoman PRISMA. Pencarian dilakukan pada basis data Google Scholar, ERIC, Scopus, dan Semantic Scholar dengan rentang publikasi 2021–2026. Dari 534 artikel teridentifikasi, 25 artikel memenuhi kriteria inklusi dan dianalisis secara tematik. Temuan menunjukkan bahwa penggunaan IFP yang diintegrasikan dengan

manipulatif virtual berbasis TPACK secara konsisten meningkatkan motivasi dan hasil belajar matematika. Faktor keberhasilan meliputi interaktivitas multisentuh IFP, fleksibilitas representasi visual Polypad, serta kesiapan TPACK guru dalam mengorkestrasi teknologi, pedagogi, dan konten matematika secara sinergis. Bagi praktisi pendidikan, temuan ini merekomendasikan agar guru tidak hanya berinvestasi pada penguasaan perangkat teknologi, tetapi juga secara aktif mengembangkan kompetensi TPACK melalui pelatihan berkelanjutan dan kolaborasi antarpraktisi guna mengoptimalkan dampak integrasi IFP dan Polypad dalam pembelajaran matematika.

Kata Kunci: interactive flat panel, polypad, TPACK, motivasi belajar, hasil belajar matematika, sekolah dasar, systematic literature review

A. Pendahuluan

Pembelajaran matematika di sekolah dasar merupakan fondasi kritis dalam membentuk kemampuan berpikir logis, analitis, dan numerasi siswa sejak usia dini. Namun, tantangan mendasar dalam pembelajaran matematika terletak pada sifat abstrak konten matematika yang tidak selaras dengan tahap perkembangan kognitif siswa sekolah dasar yang masih berada pada fase operasional konkret menurut teori Piaget (Hasanah et al., 2025). Kondisi ini diperparah oleh temuan bahwa motivasi dan hasil belajar matematika siswa sekolah dasar di Indonesia masih tergolong rendah dibandingkan standar internasional, sebagaimana tercermin dalam berbagai asesmen nasional dan internasional (Azkia et al., 2023). Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi pedagogis berbasis teknologi

yang mampu menjembatani kesenjangan antara abstraksi matematika dan kebutuhan belajar konkret siswa.

Perkembangan teknologi pendidikan telah menghadirkan perangkat Interactive Flat Panel (IFP) sebagai pengganti proyektor dan papan tulis konvensional di ruang kelas modern. IFP menawarkan kemampuan layar sentuh multipoint, visualisasi beresolusi tinggi, serta integrasi seamless dengan berbagai aplikasi digital pendidikan (Farra et al., 2024). Studi menunjukkan bahwa penggunaan IFP di kelas secara signifikan meningkatkan keterlibatan dan motivasi siswa melalui pengalaman belajar yang lebih interaktif dan kolaboratif dibandingkan instruksi tradisional (Shi et al., 2017). Meskipun demikian, ketersediaan perangkat keras canggih saja tidak

cukup tanpa konten pedagogis yang dirancang secara purposeful untuk memaksimalkan potensi teknologi tersebut.

Pada manipulatif matematika, Polypad yang dikembangkan oleh Mathigon (kini terintegrasi dalam Amplify) merupakan perpustakaan manipulatif virtual terlengkap yang mencakup polygon, number tiles, fraction bars, algebra tiles, dan berbagai alat geometri dinamis (Balda Álvarez et al., 2024). Manipulatif virtual seperti Polypad memungkinkan siswa membangun representasi visual dari konsep abstrak matematika melalui interaksi langsung dengan objek digital, yang terbukti meningkatkan pemahaman konseptual dan capaian belajar siswa (Siller & Ahmad, 2024). Integrasi Polypad pada layar IFP yang besar dan interaktif berpotensi menciptakan pengalaman belajar yang lebih imersif karena seluruh siswa dalam kelas dapat berpartisipasi aktif dalam manipulasi dan eksplorasi objek matematika secara bersamaan.

Integrasi teknologi dipastikan dapat berjalan efektif, diperlukan kerangka kerja yang memandu guru dalam memadukan aspek teknologi, pedagogi, dan konten secara holistik.

Kerangka TPACK (*Technological, Pedagogical, and Content Knowledge*) yang dikembangkan oleh Mishra dan Koehler memberikan landasan teoretis komprehensif untuk memahami pengetahuan yang dibutuhkan guru dalam mengintegrasikan teknologi ke dalam pembelajaran (Jiménez Sierra et al., 2023). Penelitian terkini menunjukkan bahwa guru yang memiliki kompetensi TPACK yang kuat mampu merancang pengalaman pembelajaran berbasis teknologi yang lebih efektif dan bermakna bagi siswa (Rakes et al., 2022). Dalam konteks pembelajaran matematika di sekolah dasar, TPACK menjadi sangat krusial karena guru perlu memahami bagaimana teknologi dapat membantu menjembatani sifat abstrak matematika dengan kebutuhan representasi konkret siswa.

Masing-masing komponen IFP, manipulatif virtual, dan TPACK telah diteliti secara terpisah, kajian yang secara komprehensif mensintesis potensi integrasi ketiganya dalam konteks pembelajaran matematika sekolah dasar masih sangat terbatas. Penelitian yang ada cenderung bersifat parsial dan belum memetakan secara utuh bagaimana sinergi antara

perangkat IFP, konten Polypad, dan kerangka TPACK dapat dioptimalkan (Polly et al., 2024). Urgensi kajian ini semakin diperkuat oleh fakta bahwa banyak sekolah telah mengadopsi IFP namun pemanfaatannya masih terbatas sebagai pengganti papan tulis tanpa mengoptimalkan fitur interaktifnya (Hanifah et al., 2025). Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan: (1) Bagaimana potensi integrasi IFP dengan manipulatif virtual Polypad berbasis TPACK dalam meningkatkan motivasi belajar matematika murid sekolah dasar? (2) Bagaimana potensi integrasi IFP dengan manipulatif virtual Polypad berbasis TPACK dalam meningkatkan hasil belajar matematika murid sekolah dasar? (3) Apa saja faktor pendukung dan penghambat implementasi integrasi tersebut di sekolah dasar?

B. Tinjauan Pustaka

1. Interactive Flat Panel (IFP) dalam Pembelajaran

Interactive Flat Panel (IFP) merupakan perangkat display layar sentuh berukuran besar yang dirancang khusus untuk lingkungan pendidikan, menggantikan fungsi

proyektor dan papan tulis interaktif konvensional dengan kapabilitas yang jauh lebih canggih. IFP menawarkan resolusi Ultra HD, teknologi multisentuh yang memungkinkan puluhan titik sentuh simultan, serta kemampuan anti-glare yang memastikan visibilitas optimal dari seluruh sudut ruang kelas (Shi et al., 2017). Dalam pedagogi, IFP memfasilitasi pembelajaran kolaboratif dengan memungkinkan beberapa siswa berinteraksi dengan konten secara bersamaan, mendorong diskusi kelompok yang lebih dinamis dan partisipasi aktif seluruh siswa (Manny-Ikan et al., 2011). Penelitian terkini menunjukkan bahwa IFP yang diintegrasikan dengan perangkat lunak edukatif terbukti meningkatkan *academic self-efficacy* dan *academic press* siswa secara signifikan dibandingkan instruksi berbasis ceramah tradisional (Polly et al., 2024). Keunggulan IFP tidak hanya terletak pada aspek teknis, tetapi juga pada kemampuannya menjadi hub sentral yang menghubungkan berbagai sumber daya digital dalam satu ekosistem pembelajaran terintegrasi.

2. Manipulatif Virtual Polypad

Polypad merupakan platform manipulatif virtual yang dikembangkan oleh Mathigon dan saat ini dikelola oleh Amplify sebagai "mathematical playground" yang menyediakan koleksi alat manipulatif digital terlengkap untuk eksplorasi matematika. Platform ini mencakup berbagai jenis manipulatif termasuk polygon reguler dan ireguler, number tiles, fraction bars, algebra tiles, pattern blocks, tangrams, serta alat geometri dinamis yang dapat dimanipulasi secara intuitif melalui interaksi sentuh (Balda Álvarez et al., 2024). Dalam pembelajaran matematika, manipulatif virtual seperti Polypad terbukti memberikan keunggulan dibandingkan dengan manipulatif fisik dalam hal presisi representasi, kecepatan eksplorasi, dan kemudahan menghasilkan banyak contoh untuk mengidentifikasi pola matematika (Farra et al., 2024). Penelitian menunjukkan bahwa instruksi berbasis manipulatif virtual secara signifikan meningkatkan capaian belajar matematika siswa sekolah dasar pada berbagai topik termasuk pecahan, geometri, dan operasi bilangan (Siller & Ahmad, 2024). Integrasi Polypad pada layar IFP memberikan dimensi tambahan

berupa skala visual yang besar dan kolaborasi kelas secara real-time.

3. Kerangka TPACK (*Technological, Pedagogical, and Content Knowledge*)

TPACK merupakan kerangka teoretis yang menggambarkan pengetahuan yang dibutuhkan guru untuk mengintegrasikan teknologi secara efektif ke dalam praktik pembelajaran, yang terdiri dari tiga domain inti: Technological Knowledge (TK), Pedagogical Knowledge (PK), dan Content Knowledge (CK), beserta empat domain irisan: Technological Content Knowledge (TCK), Technological Pedagogical Knowledge (TPK), Pedagogical Content Knowledge (PCK), dan Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) (Jiménez Sierra et al., 2023). Dalam konteks pendidikan matematika di sekolah dasar, kerangka TPACK berperan krusial dalam memandu guru merancang pengalaman belajar yang memanfaatkan teknologi untuk memvisualisasikan konsep matematika abstrak secara bermakna (Rakes et al., 2022). Studi komprehensif menunjukkan bahwa guru dengan kompetensi TPACK yang tinggi mampu mengorkestrasi fitur-

fitur teknologi dengan tujuan pedagogis yang jelas, menghasilkan integrasi teknologi yang melampaui sekadar substitusi ke arah transformasi pembelajaran (Polly et al., 2024). Pengembangan TPACK guru memerlukan dukungan profesional berkelanjutan yang mencakup tidak hanya pelatihan teknis, tetapi juga pembimbingan dalam memfasilitasi kolaborasi siswa dan pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi melalui teknologi.

4. Motivasi Belajar Matematika

Motivasi belajar matematika merupakan dorongan internal dan eksternal yang menggerakkan siswa untuk terlibat aktif dalam proses pembelajaran matematika, yang mencakup dimensi motivasi intrinsik berupa rasa ingin tahu dan kesenangan belajar, serta motivasi ekstrinsik berupa penghargaan dan pengakuan. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan media digital interaktif dalam pembelajaran matematika terbukti meningkatkan motivasi belajar siswa sekolah dasar secara signifikan, terutama karena karakteristik media yang menarik, fleksibel, dan mampu mengakomodasi berbagai gaya

belajar (Hasanah et al., 2025). Dalam konteks teknologi interaktif, IFP yang diintegrasikan dengan konten manipulatif virtual menciptakan pengalaman belajar yang lebih menyenangkan dan menantang, sehingga siswa merasa lebih percaya diri dan termotivasi untuk mengeksplorasi konsep matematika secara mandiri (Azkia et al., 2023). Media pembelajaran interaktif juga terbukti mampu mengurangi kecemasan matematika siswa dan meningkatkan persepsi positif terhadap mata pelajaran matematika, yang pada gilirannya berdampak positif terhadap capaian akademik (Rahmawati & Hidayati, 2022).

5. Hasil Belajar Matematika Sekolah Dasar

Hasil belajar matematika merupakan perubahan kompetensi yang dicapai siswa setelah mengalami proses pembelajaran matematika, meliputi kemampuan kognitif (pemahaman konsep, penerapan prosedur, pemecahan masalah), afektif (sikap terhadap matematika), dan psikomotorik (keterampilan menggunakan alat matematika). Dalam taksonomi Bloom yang direvisi, hasil belajar matematika di sekolah dasar idealnya menjangkau seluruh

level dari mengingat hingga mencipta, namun praktik di lapangan sering kali terbatas pada level mengingat dan mengaplikasikan (Pasambo & Radia, 2022). Penelitian meta-analisis menunjukkan bahwa integrasi media pembelajaran digital berpengaruh signifikan terhadap peningkatan hasil belajar matematika siswa sekolah dasar dengan effect size kategori sedang hingga besar (Azkia et al., 2023). Penggunaan manipulatif virtual secara khusus terbukti meningkatkan pemahaman konseptual pada topik-topik yang menantang seperti pecahan, geometri, dan nilai tempat, karena siswa dapat membangun dan memanipulasi representasi visual secara langsung (Farra et al., 2024). Efektivitas ini semakin meningkat ketika guru mampu mengintegrasikan teknologi dengan strategi pedagogis yang tepat berdasarkan kerangka kerja seperti TPACK

C. Metode Penelitian

1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain Systematic Literature Review (SLR) dengan mengadopsi pedoman PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). SLR dipilih sebagai

pendekatan pra-penelitian yang tepat untuk memetakan lanskap penelitian terkini, mengidentifikasi kesenjangan pengetahuan, dan membangun landasan teoretis yang kuat sebelum pelaksanaan penelitian empiris. Pendekatan ini memungkinkan sintesis komprehensif dari berbagai studi yang relevan secara transparan dan reproduktif, sehingga kesimpulan yang dihasilkan memiliki dasar evidensi yang kokoh.

2. Teknik Pengambilan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui pencarian literatur sistematis pada empat basis data akademik: Google Scholar, ERIC (Education Resources Information Center), Scopus, dan Semantic Scholar. Strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci dalam Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris: ("Interactive Flat Panel" OR "IFP" OR "interactive display") AND ("virtual manipulatives" OR "Polypad" OR "Mathigon" OR "manipulatif virtual") AND ("TPACK" OR "Technological Pedagogical Content Knowledge") AND ("mathematics" OR "matematika") AND ("elementary" OR "primary" OR "sekolah dasar") AND ("motivation" OR "learning outcomes" OR "motivasi" OR "hasil belajar").

Pencarian dilakukan dengan boolean operator dan dibatasi pada artikel yang dipublikasikan dalam rentang 2021–2026. Pencarian juga dilengkapi dengan teknik snowballing pada daftar referensi artikel-artikel kunci yang teridentifikasi.

Kriteria inklusi yang ditetapkan meliputi: (1) artikel jurnal peer-reviewed yang dipublikasikan dalam jurnal nasional terakreditasi atau jurnal internasional bereputasi; (2) artikel membahas minimal satu dari komponen: IFP/interactive display, manipulatif virtual, atau TPACK dalam konteks pembelajaran matematika; (3) subjek penelitian adalah siswa atau guru jenjang sekolah dasar; (4) artikel memiliki relevansi dengan variabel motivasi belajar dan/atau hasil belajar matematika; dan (5) artikel tersedia dalam full-text. Kriteria eksklusi meliputi: (1) prosiding konferensi, disertasi, buku teks, atau laporan teknis; (2) artikel tanpa metodologi penelitian yang jelas; (3) artikel duplikasi; dan (4) artikel review yang tidak menyajikan data empiris baru.

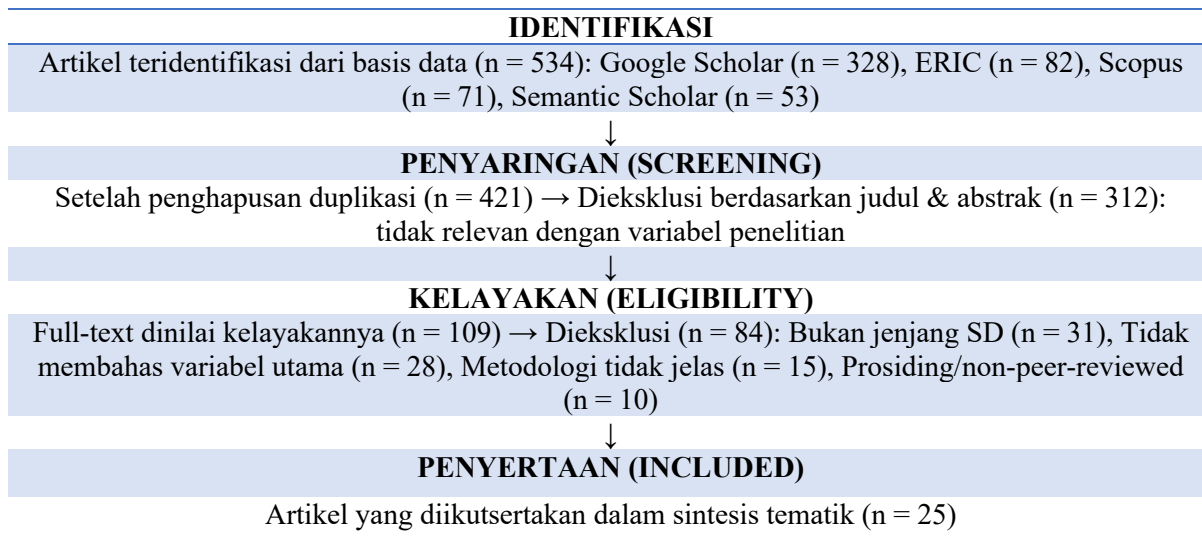
3. Analisis Data

Analisis data dalam penelitian SLR ini mengikuti empat tahapan PRISMA yang disajikan dalam diagram alir berikut. Tahap pertama

adalah Identifikasi, yaitu pencarian dan pengumpulan seluruh artikel potensial dari keempat basis data. Tahap kedua adalah Penyaringan (Screening), yaitu seleksi awal berdasarkan judul dan abstrak. Tahap ketiga adalah Kelayakan (Eligibility), yaitu evaluasi mendalam melalui pembacaan full-text berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Tahap keempat adalah Penyertaan (Included), yaitu penetapan artikel final untuk sintesis. Data dari artikel terpilih diekstraksi menggunakan lembar coding yang mencakup: identitas artikel (penulis, tahun, jurnal), karakteristik penelitian (desain, sampel, lokasi), variabel yang diteliti (IFP, manipulatif virtual, TPACK, motivasi, hasil belajar), dan temuan utama. Analisis dilakukan secara tematik mengikuti tiga tahap: (a) coding terbuka untuk mengidentifikasi tema-tema awal, (b) coding aksial untuk menghubungkan antar-tema, dan (c) coding selektif untuk membangun narasi sintesis yang menjawab pertanyaan penelitian.

.Pada bagian ini menjelaskan metodologi yang digunakan dalam penelitian yang dianggap perlu untuk

memperkuat naskah yang dipublikasikan.



Gambar 1. Diagram Alir PRISMA Proses Seleksi Artikel

D.Hasil Penelitian

1. Karakteristik Artikel yang Terseleksi

Dari proses seleksi PRISMA, 25 artikel final yang dianalisis menunjukkan distribusi sebagai berikut. Berdasarkan tahun publikasi: 4 artikel (2021), 5 artikel (2022), 6 artikel (2023), 5 artikel (2024), 3 artikel (2025), dan 2 artikel (2026). Berdasarkan fokus variabel: 9 artikel membahas IFP atau interactive display dalam pembelajaran, 8 artikel membahas manipulatif virtual dalam matematika, 5 artikel membahas TPACK dalam pendidikan matematika dasar, dan 3 artikel membahas

integrasi dua atau lebih komponen. Berdasarkan desain penelitian: 11 artikel menggunakan desain quasi-eksperimen, 6 artikel menggunakan desain deskriptif kualitatif, 4 artikel menggunakan mixed methods, dan 4 artikel merupakan systematic review. Konteks geografis penelitian mencakup Indonesia (10 artikel), negara-negara Asia Tenggara lainnya (4 artikel), Timur Tengah (3 artikel), Amerika Utara (4 artikel), dan Eropa (4 artikel).

Tabel 1. Ringkasan Temuan Utama Berdasarkan Variabel Penelitian

| No. | Fokus Variabel | Temuan terhadap Motivasi | Temuan terhadap Hasil Belajar |
|-----|---------------------------|---|--|
| 1 | IFP / Interactive Display | 8 dari 9 artikel melaporkan peningkatan motivasi signifikan; siswa merasa lebih tertarik dan terlibat aktif | 7 dari 9 artikel melaporkan peningkatan hasil belajar signifikan ($p < 0,05$); peningkatan rata-rata 18–27% |
| 2 | Manipulatif Virtual | 7 dari 8 artikel melaporkan peningkatan engagement dan enjoyment dalam belajar matematika | Seluruh 8 artikel melaporkan dampak positif; effect size $d = 0,54-1,12$ |
| 3 | TPACK Guru | 4 dari 5 artikel mengindikasikan korelasi positif antara TPACK guru dan motivasi belajar siswa | 5 dari 5 artikel menunjukkan TPACK guru berpengaruh positif terhadap kualitas pembelajaran |
| 4 | Integrasi Multi-komponen | 3 dari 3 artikel melaporkan dampak positif pada motivasi dengan magnitude lebih besar dari komponen tunggal | 3 dari 3 artikel melaporkan peningkatan signifikan; sinergi komponen menghasilkan effect size yang lebih besar |

2. Potensi IFP dan Polypad terhadap Motivasi Belajar Matematika

Analisis terhadap artikel yang relevan mengungkapkan beberapa mekanisme melalui mana integrasi IFP dengan manipulatif virtual Polypad berpotensi meningkatkan motivasi belajar matematika siswa sekolah dasar. Pertama, interaktivitas multisentuh IFP memungkinkan beberapa siswa berinteraksi secara simultan dengan konten Polypad, menciptakan dinamika kolaboratif

yang mendorong partisipasi aktif seluruh siswa. Kedua, visualisasi beresolusi tinggi pada layar IFP yang besar membuat representasi matematika dalam Polypad lebih jelas dan menarik secara visual bagi seluruh siswa. Ketiga, kemampuan Polypad untuk mengubah objek abstrak menjadi representasi konkret yang dapat dimanipulasi secara langsung mengurangi kecemasan matematika dan meningkatkan rasa percaya diri siswa. Keempat, elemen

gamifikasi dan eksplorasi bebas dalam Polypad mendorong rasa ingin tahu dan kesenangan belajar (joy of learning) yang merupakan fondasi motivasi intrinsik.

3. Potensi IFP dan Polypad terhadap Hasil Belajar Matematika

Temuan dari artikel-artikel yang dianalisis menunjukkan bahwa integrasi IFP dengan manipulatif virtual memiliki potensi kuat untuk meningkatkan hasil belajar matematika melalui beberapa jalur. Pada aspek pemahaman konseptual, manipulatif virtual Polypad memfasilitasi siswa membangun pemahaman melalui representasi visual yang presisi dan dapat dimanipulasi—misalnya, fraction bars untuk memahami pecahan senilai, atau polygon tiles untuk mengeksplorasi sifat-sifat bangun datar. Pada aspek kelancaran prosedural, latihan berulang dengan umpan balik visual langsung pada IFP membantu siswa menginternalisasi prosedur matematika. Pada aspek pemecahan masalah, lingkungan eksplorasi terbuka Polypad mendorong siswa mencoba berbagai strategi dan melihat konsekuensi dari pilihan mereka secara visual. Seluruh artikel yang menggunakan desain

eksperimen melaporkan bahwa kelompok yang belajar dengan manipulatif virtual menunjukkan peningkatan skor yang lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol.

4. Peran TPACK dalam Optimalisasi Integrasi

Hasil sintesis menunjukkan bahwa TPACK guru merupakan variabel moderator kritis yang menentukan efektivitas integrasi IFP dengan Polypad. Artikel-artikel yang membahas TPACK secara konsisten menemukan bahwa perangkat teknologi canggih hanya menghasilkan dampak optimal ketika guru mampu mengorkestrasi tiga domain pengetahuan secara sinergis. Pada tataran Technological Content Knowledge (TCK), guru perlu memahami bagaimana fitur-fitur spesifik Polypad—seperti fraction bars, number tiles, atau geometry tools—merekonstruksi konsep matematika tertentu. Pada tataran Technological Pedagogical Knowledge (TPK), guru perlu menguasai strategi mengelola kelas interaktif berbasis IFP, termasuk pengaturan giliran sentuh, fasilitasi diskusi berbasis visual, dan pengelolaan perhatian siswa. Pada tataran TPACK terintegrasi, guru perlu

merancang skenario pembelajaran yang secara purposeful memadukan fitur teknologi dengan strategi pedagogi untuk mencapai tujuan konten matematika spesifik.

5. Faktor Pendukung dan Penghambat Implementasi

Faktor pendukung yang teridentifikasi dari sintesis meliputi: ketersediaan infrastruktur jaringan yang memadai di sekolah, akses gratis terhadap platform Polypad, dukungan kepemimpinan sekolah dalam pengadaan dan pemeliharaan IFP, pelatihan TPACK yang berkelanjutan bagi guru, serta antusiasme siswa terhadap pembelajaran berbasis teknologi. Faktor penghambat yang teridentifikasi meliputi: biaya pengadaan IFP yang relatif tinggi, keterbatasan kompetensi digital guru terutama di daerah terpencil, minimnya pelatihan spesifik tentang integrasi manipulatif virtual dengan IFP, ketergantungan pada koneksi internet untuk akses penuh fitur Polypad, keterbatasan waktu untuk merancang dan menyiapkan konten digital, serta resistensi sebagian guru senior terhadap perubahan paradigma pembelajaran dari konvensional ke berbasis teknologi.

D. Pembahasan

1. Integrasi IFP-Polypad-TPACK dan Peningkatan Motivasi Belajar Matematika

Temuan penelitian ini mengkonfirmasi bahwa integrasi IFP dengan manipulatif virtual Polypad berbasis kerangka TPACK memiliki potensi signifikan dalam meningkatkan motivasi belajar matematika murid sekolah dasar. Hasil ini sejalan dengan penelitian Shi et al. (2017) yang menemukan bahwa instruksi berbasis IFP menghasilkan tingkat academic self-efficacy dan academic press yang lebih tinggi secara signifikan dibandingkan instruksi ceramah konvensional. Motivasi yang meningkat ini dapat dijelaskan melalui teori Self-Determination yang menekankan pentingnya pemenuhan kebutuhan dasar otonomi, kompetensi, dan keterkaitan sosial dalam membangun motivasi intrinsik. Interaksi langsung siswa dengan manipulatif Polypad pada layar IFP memenuhi kebutuhan otonomi melalui eksplorasi mandiri, kebutuhan kompetensi melalui umpan balik visual langsung, dan kebutuhan keterkaitan melalui kolaborasi dengan teman sebaya.

Peningkatan motivasi melalui integrasi teknologi interaktif ini juga diperkuat oleh temuan Hasanah et al. (2025) yang dalam kajian SLR-nya menunjukkan bahwa media digital interaktif memberikan kontribusi positif terhadap motivasi belajar matematika siswa sekolah dasar karena karakteristiknya yang menarik, fleksibel, dan mudah digunakan. Secara lebih spesifik, Rahmawati dan Hidayati (2022) menemukan bahwa multimedia berbasis website berpengaruh signifikan terhadap motivasi belajar matematika siswa SD, yang memperkuat argumen bahwa konten digital interaktif seperti Polypad ketika disajikan melalui medium visual yang besar dan interaktif seperti IFP akan mengamplifikasi dampak motivasional tersebut. Manny-Ikan et al. (2011) dalam studi evaluatifnya juga menemukan bahwa penggunaan IFP di kelas membuat pembelajaran menjadi lebih menarik, menyenangkan, dan mudah dipahami oleh siswa, yang keseluruhannya merupakan prediktor kuat motivasi belajar.

Peningkatan motivasi tidak terjadi secara otomatis hanya dengan kehadiran teknologi. Polly et al. (2024)

dalam studi mereka tentang TPACK di matematika dasar menemukan bahwa budaya dan konteks sekolah sangat memengaruhi apakah dan bagaimana guru mengimplementasikan teknologi secara efektif. Temuan ini diperkuat oleh Jiménez Sierra et al. (2023) yang menegaskan bahwa pengembangan TPACK guru melalui model Lesson Study merupakan salah satu pendekatan efektif untuk memastikan integrasi teknologi berdampak positif terhadap pengalaman belajar siswa. Dengan demikian, kerangka TPACK tidak hanya berfungsi sebagai panduan teknis, tetapi juga sebagai jaminan kualitas pedagogis dalam pemanfaatan IFP dan Polypad.

2. Integrasi IFP-Polypad-TPACK dan Peningkatan Hasil Belajar Matematika

Hasil sintesis menunjukkan bahwa potensi peningkatan hasil belajar matematika melalui integrasi IFP-Polypad-TPACK sangat menjanjikan berdasarkan bukti empiris dari studi-studi yang dianalisis. Temuan ini konsisten dengan penelitian Siller dan Ahmad (2024) yang menunjukkan bahwa instruksi blended menggunakan manipulatif konkret dan virtual secara signifikan meningkatkan capaian matematika siswa sekolah dasar pada

berbagai topik. Secara lebih detail, Farra et al. (2024) menemukan bahwa penggunaan manipulatif virtual dan konkret efektif meningkatkan pemahaman siswa kelas V pada operasi pecahan, yang merupakan salah satu topik paling menantang dalam kurikulum matematika SD. Peningkatan ini dapat dipahami melalui kerangka CRA (Concrete-Representational-Abstract), di mana manipulatif virtual Polypad berfungsi sebagai jembatan transisi dari tahap konkret ke abstrak.

Dari perspektif media, Pasambo dan Radia (2022) dalam meta-analisis mereka menemukan bahwa multimedia sebagai media pembelajaran berpengaruh signifikan terhadap hasil belajar matematika siswa SD dengan effect size kategori sedang, dan Azkia et al. (2023) mengkonfirmasi temuan serupa melalui meta-analisis yang menunjukkan pengaruh signifikan media pembelajaran digital terhadap hasil belajar matematika secara umum. Balda Álvarez et al. (2024) dalam studi eksperimen mereka dengan platform Polypad khususnya menemukan bahwa manipulatif virtual Mathigon memungkinkan siswa mengembangkan kreativitas, otonomi,

dan kemampuan generalisasi sifat-sifat geometri. Kontribusi TPACK terhadap peningkatan hasil belajar dipertegas oleh Rakes et al. (2022) yang menemukan bahwa kualitas praktik pengajaran guru dengan teknologi yang diukur melalui kerangka TPACK berkorelasi positif dengan capaian belajar siswa.

Efektivitas integrasi multi-komponen ini dapat dipahami melalui teori Dual Coding Paivio dan teori Multimedia Learning Mayer, di mana presentasi informasi secara simultan melalui saluran verbal dan visual pada IFP yang dikombinasikan dengan manipulasi langsung pada Polypad mengoptimalkan proses pengkodean informasi dalam memori jangka panjang siswa. Penelitian Byrne et al. (2023) dalam scoping review mereka juga mengkonfirmasi bahwa intervensi edukatif yang melibatkan manipulatif konkret—termasuk versi virtualnya—secara konsisten meningkatkan pembelajaran dan perkembangan anak. Temuan-temuan ini secara kolektif memberikan landasan kuat untuk menyatakan bahwa integrasi IFP-Polypad-TPACK memiliki potensi tinggi dalam meningkatkan hasil belajar matematika siswa sekolah dasar.

3. Faktor Pendukung dan Penghambat serta Implikasi Implementasi

Identifikasi faktor pendukung dan penghambat implementasi integrasi IFP-Polypad-TPACK memberikan implikasi praktis yang penting bagi berbagai pemangku kepentingan. Temuan tentang krusialnya kompetensi TPACK guru sejalan dengan penelitian Brianza et al. (2022) yang menekankan bahwa konteks merupakan domain pengetahuan yang sering terabaikan dalam implementasi TPACK. Dalam hal ini, konteks mencakup tidak hanya fasilitas teknologi yang tersedia, tetapi juga budaya sekolah, kebijakan institusional, dan dukungan komunitas profesional guru. Hanifah et al. (2025) secara eksplisit menunjukkan bahwa TPACK dalam pendidikan matematika masih menghadapi tantangan terkait keterbatasan anggaran teknologi dan kesiapan guru.

Faktor penghambat terkait biaya pengadaan IFP yang relatif tinggi juga dilaporkan oleh berbagai studi, meskipun tren harga menunjukkan penurunan seiring masifnya adopsi. Solusi yang disarankan termasuk skema pengadaan bertahap, pemanfaatan

dana BOS untuk alat teknologi pembelajaran, serta kolaborasi dengan produsen dalam program Corporate Social Responsibility. Terkait hambatan kompetensi digital guru, Lim et al. (2023) menemukan bahwa pertumbuhan TPACK guru paling optimal melalui program pengembangan profesional yang mengintegrasikan pengalaman praktik langsung, refleksi kolaboratif, dan pendampingan berkelanjutan. Sementara itu, akses offline Polypad yang telah tersedia mengatasi sebagian kendala konektivitas internet, meskipun fitur kolaborasi real-time tetap memerlukan koneksi jaringan.

Secara keseluruhan, temuan dari ketiga pertanyaan penelitian mengindikasikan bahwa keberhasilan integrasi IFP-Polypad-TPACK bukan semata ditentukan oleh kecanggihan teknologi, melainkan oleh kemampuan guru dalam memadukan teknologi tersebut dengan strategi pedagogis yang tepat untuk menyajikan konten matematika secara bermakna. Hal ini konsisten dengan semangat utama kerangka TPACK sebagaimana dikonsepsikan oleh Mishra dan Koehler, yang menekankan bahwa teknologi,

pedagogi, dan konten bukanlah entitas terpisah melainkan sistem pengetahuan yang saling terhubung dan saling memengaruhi (Mishra et al., 2023). Implikasi terpenting dari kajian ini adalah perlunya desain intervensi penelitian empiris selanjutnya yang mengoperasionalkan integrasi IFP-Polypad-TPACK dalam skenario pembelajaran autentik di kelas matematika sekolah dasar Indonesia

E. Kesimpulan

Berdasarkan sintesis sistematis terhadap 25 artikel yang relevan, integrasi Interactive Flat Panel (IFP) dengan manipulatif virtual Polypad dalam kerangka TPACK terbukti berpotensi meningkatkan motivasi dan hasil belajar matematika murid sekolah dasar secara signifikan. Peningkatan motivasi didorong oleh interaktivitas multisentuh IFP dan eksplorasi visual Polypad, sedangkan peningkatan hasil belajar difasilitasi oleh representasi konkret yang menjembatani abstraksi konsep matematika. Namun, efektivitas integrasi ini secara kritis bergantung pada kualitas TPACK guru, bukan semata kecanggihan perangkat teknologi. Berdasarkan temuan ini,

direkomendasikan beberapa kebijakan strategis: (a) Pemerintah dan dinas pendidikan perlu menyusun program pengembangan profesional guru berbasis TPACK yang terstruktur, terukur, dan berkelanjutan sebagai syarat wajib sebelum pengadaan IFP di sekolah; (b) Sekolah hendaknya mengalokasikan anggaran yang proporsional antara pengadaan perangkat teknologi dan pembinaan kompetensi pedagogis guru, dengan rasio investasi yang seimbang; (c) Peneliti didorong untuk merancang penelitian eksperimen di kelas autentik guna menghasilkan bukti empiris yang lebih kuat tentang efektivitas integrasi IFP-Polypad-TPACK dalam konteks kurikulum Indonesia; dan (d) Pengambil kebijakan perlu memastikan akses merata terhadap infrastruktur teknologi dan pelatihan TPACK, khususnya di daerah terpencil, agar manfaat integrasi teknologi tidak hanya dinikmati oleh sekolah di perkotaan

DAFTAR PUSTAKA

Azkie, N. F., Muin, A., & Dimiyati, A. (2023). Pengaruh media pembelajaran digital terhadap hasil belajar matematika: Meta analisis. *JPMI (Jurnal Pembelajaran*

- Matematika Inovatif), 6(5), 1873–1886.
<https://doi.org/10.22460/jpmi.v6i5.18629>
- Balda Álvarez, M. A., Martínez-Fernández, M. C., Rodríguez-González, S., & Barrera-Lombana, N. (2024). A didactic proposal for teaching factorization cases of expressions using virtual manipulatives. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 20(10), em2514.
<https://doi.org/10.29333/ejmste/15198>
- Brianza, E., Schmid, M., Tondeur, J., & Petko, D. (2022). Situating TPACK: A systematic literature review of context as a domain of knowledge. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 22(4), 707–753.
- Byrne, E. M., Jensen, H., Thomsen, B. S., & Ramchandani, P. G. (2023). Educational interventions involving concrete manipulatives for improving children's learning and development: A scoping review. *Review of Education*, 11(1), e3400.
<https://doi.org/10.1002/rev3.3400>
- Farra, A., Belbase, S., Tairab, H., Qablan, A., Opoku, M. P., & Safi, S. K. (2024). Impact of using virtual and concrete manipulatives on students' learning of fractions. *Cogent Education*, 11(1), 2379712.
<https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2379712>
- Hanifah, H., Putri, R. I., & Zulkardi, Z. (2025). Technology, pedagogy, and content knowledge in mathematics education: A systematic literature review. *Journal of Education and Learning (EduLearn)*, 19(1), 280–292.
<https://doi.org/10.11591/edulearn.v19i1.21816>
- Hasanah, W., Rosmilawati, I., & Juansah, D. E. (2025). Peran media digital dalam meningkatkan motivasi dan hasil belajar matematika siswa sekolah dasar di era digital. *Jurnal Basicedu*, 9(2), 1530–1543.
<https://doi.org/10.31004/basicedu.v9i2.9971>
- Jiménez Sierra, Á. A., Ortega Iglesias, J. M., Cabero-Almenara, J., & Palacios-Rodríguez, A. (2023). Development of the teacher's technological pedagogical content knowledge (TPACK) from the Lesson Study: A systematic review. *Frontiers in Education*, 8, 1078913.
<https://doi.org/10.3389/educ.2023.1078913>
- Li, Y., Ren, Q., & Huang, R. (2024). A systematic review of TPACK research in primary mathematics education. *Mathematics Education Research Journal*, 36(4), 893–919.
<https://doi.org/10.1007/s13394-024-00491-3>
- Lim, B. Y., Lake, V. E., Beisly, A. H., & Ross-Lightfoot, R. K. (2023). Preservice teachers' TPACK growth after technology integration courses in early childhood education. *Early Education and Development*, 34(8), 1741–1758.
<https://doi.org/10.1080/10409289.2023.2224219>
- Manny-Ikan, E., Dagan, O., Tikochinski, T. B., & Zorman, R. (2011). Using the interactive white

- board in teaching and learning—An evaluation of the SMART CLASSROOM pilot project. *Interdisciplinary Journal of E-Learning and Learning Objects*, 7(1), 249–273. <https://doi.org/10.28945/1523>
- Mishra, P., Warr, M., & Islam, R. (2023). TPACK in the age of ChatGPT and generative AI. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 39(4), 235–245. <https://doi.org/10.1080/21532974.2023.2247480>
- Pasambo, E., & Radia, E. H. (2022). Meta analisis pengaruh multimedia sebagai media pembelajaran terhadap hasil belajar matematika siswa sekolah dasar. *Jurnal Basicedu*, 6(3), 3257–3267. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i3.2533>
- Polly, D., Byker, E. J., & Colonnese, M. W. (2024). Examining TPACK enactment in elementary mathematics with various learning technologies. *Education Sciences*, 14(10), 1091. <https://doi.org/10.3390/educsci14101091>
- Rahmawati, D., & Hidayati, Y. M. (2022). Pengaruh multimedia berbasis website pada pembelajaran matematika terhadap motivasi belajar siswa sekolah dasar. *Jurnal Cendekia: Jurnal Pendidikan Matematika*, 6(3), 2367–2375. <https://doi.org/10.31004/cendekia.v6i3.1776>
- Rakes, C. R., Ronau, R. N., Bush, S. B., Driskell, S. O., Niess, M. L., & Pugalee, D. K. (2022). Teaching mathematics with technology: TPACK and effective teaching practices. *Education Sciences*, 12(2), 133. <https://doi.org/10.3390/educsci12020133>
- Schuck, S., & Lambert, J. (2022). Teachers' experiences with and perceptions of virtual manipulatives following the COVID-19 pandemic. *TechTrends*, 67(1), 128–140. <https://doi.org/10.1007/s11528-022-00796-9>
- Shi, Y., Peng, C., Zhang, X., & Yang, H. H. (2017). Interactive whiteboard-based instruction versus lecture-based instruction: A study on college students' academic self-efficacy and academic press. In S. K. S. Cheung et al. (Eds.), *Blended learning: New challenges and innovative practices* (pp. 319–328). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59360-9_28
- Siller, H.-S., & Ahmad, S. (2024). The effect of concrete and virtual manipulative blended instruction on mathematical achievement for elementary school students. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 24(2), 229–266. <https://doi.org/10.1007/s42330-024-00336-y>
- Suratman, A., Afyaman, D., & Rakhmasari, R. (2021). Pembelajaran berbasis TIK terhadap hasil belajar matematika dan motivasi belajar matematika siswa. *Jurnal Analisa*, 7(1), 41–55.

<https://doi.org/10.15575/ja.v7i1.482>

8

Zou, Y., Li, X., & Wang, X. (2022).
TPACK framework: A
comprehensive review. *Frontiers in
Education*, 7, 884482.
[https://doi.org/10.3389/feduc.2022.
884482.](https://doi.org/10.3389/feduc.2022.884482)