JURNAL ALTIFANI
Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat

Vol. 6, No. 6 –November 2026, Hal. 4133-4145
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1628

Penguatan Literasi Digital Guru SD Melalui Implementasi Aplikasi Polypad

Strengthening Elementary School Teachers' Digital Literacy through the Implementation of the Polypad Application

Zulnuraini[1]*, Khairunnisa[2], Dyah Aini Purbarani[3], Muhammad Nazimuddin Al Kamil[4], Rangga Putera Boroallo[5]

[1,2,3,4,5]Program Studi Pendidikan Guru Sekolah Dasar, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Tadulako
*e-mail: zulnuraini@untad.ac.id[1], khairunnisaidris@untad.ac.id[2], da.purbarani@gmail.com[3], muhnazalkamil@gmail.com[4], boroallo24@gmail.com[5]

Received:	Revised:	Accepted:	Available online:
13.10.2026	04.11.2026	15.11.2026	21.11.2026

Abstract: *Pedagogical digital literacy among elementary school teachers in using technology for mathematics instruction needs to be strengthened, particularly in integrating technology, pedagogy, and content. This community service program aimed to improve teachers' competence in using Polypad as a TPACK-based interactive mathematics instructional medium. The program involved 15 teachers from SD Inpres Baru through socialization, training, workshops, Polypad practice, lesson planning, microteaching, feedback, and mentoring. Evaluation was conducted using pre-tests and post-tests, a Polypad skills rubric, TPACK assessment, instructional practice observations, and an attitude and readiness questionnaire. The results showed increases in knowledge from 58.67% to 82.67%, Polypad skills from 56.67% to 83.33%, and instructional practice from 57.53% to 84.00%. TPACK integration reached 84.67%, while attitudes and readiness reached 85.33%. Overall, 86.67% of teachers met the minimum criterion of 80%, indicating that the program strengthened teachers' pedagogical digital competence to support interactive and exploratory mathematics instruction.*
Keywords*: elementary school teachers; pedagogical digital literacy; mathematics instruction; Polypad; TPACK.*

Abstrak: Literasi digital pedagogis guru sekolah dasar dalam pemanfaatan teknologi untuk pembelajaran matematika perlu diperkuat, terutama dalam mengintegrasikan teknologi, pedagogi, dan konten. Pengabdian ini bertujuan meningkatkan kompetensi guru menggunakan Polypad sebagai media pembelajaran matematika interaktif berbasis TPACK. Kegiatan melibatkan 15 guru SD Inpres Baru melalui sosialisasi, pelatihan, workshop, praktik Polypad, perancangan pembelajaran, *microteaching*, umpan balik, dan pendampingan. Evaluasi menggunakan *pre-test* dan *post-test*, rubrik keterampilan Polypad, penilaian TPACK, observasi pembelajaran, serta angket sikap dan kesiapan. Hasil menunjukkan peningkatan pengetahuan dari 58,67% menjadi 82,67%, keterampilan Polypad dari 56,67% menjadi 83,33%, dan praktik pembelajaran dari 57,53% menjadi 84,00%. Integrasi TPACK mencapai 84,67%, sedangkan sikap dan kesiapan 85,33%. Sebanyak 86,67% guru memenuhi kriteria minimal 80%, menunjukkan bahwa program memperkuat kompetensi digital pedagogis untuk mendukung pembelajaran matematika interaktif dan eksploratif.
Kata kunci: guru sekolah dasar; literasi digital pedagogis; pembelajaran matematika; Polypad; TPACK.

1. PENDAHULUAN

Transformasi digital telah membawa perubahan fundamental dalam penyelenggaraan pendidikan, termasuk pembelajaran di sekolah dasar (Bo, 2025). Teknologi digital tidak lagi sekadar berfungsi sebagai perangkat pendukung administrasi atau penyajian materi, tetapi membuka peluang bagi guru untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih interaktif, kontekstual, dan berpusat pada peserta didik (OECD, 2025). Keberhasilan digitalisasi pendidikan, dengan demikian, tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan infrastruktur, tetapi juga oleh kemampuan guru dalam memilih, menggunakan, dan mengintegrasikan teknologi secara pedagogis (Mishra & Koehler, 2006). Literasi digital guru perlu dimaknai lebih luas daripada kemampuan mengoperasikan perangkat dan aplikasi, yaitu mencakup kemampuan memilih, mengevaluasi, mengadaptasi, dan memanfaatkan teknologi sesuai tujuan pembelajaran dan karakteristik peserta didik. Tuntutan tersebut menjadi semakin penting pada pembelajaran matematika sekolah dasar yang membutuhkan beragam

Vol. 6, No. 6 –November 2026, Hal. 4133-4145
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1628

representasi, visualisasi, manipulasi, dan eksplorasi agar konsep yang abstrak dapat dipahami secara bermakna (Mainali, 2021; Žakelj & Klančar, 2022).

Integrasi teknologi dalam pembelajaran matematika memerlukan keterpaduan antara pengetahuan teknologi, pedagogi, dan konten sebagaimana dikembangkan dalam kerangka *Technological Pedagogical and Content Knowledge* (TPACK). TPACK menempatkan kemampuan guru dalam menghubungkan teknologi dengan strategi pedagogis dan karakteristik konten sebagai faktor penting dalam menghasilkan pembelajaran berbasis teknologi yang bermakna. Kajian sistematis Li et al. (2025) menunjukkan bahwa penelitian TPACK pada pendidikan matematika sekolah dasar telah berkembang pada aspek desain pembelajaran, evaluasi pengetahuan guru, pelatihan, dan pengembangan profesional, tetapi masih terdapat kebutuhan terhadap program pelatihan yang lebih kontekstual dan berorientasi pada praktik. Dengan demikian, penguatan literasi digital guru perlu diarahkan tidak hanya pada penguasaan teknologi, tetapi pada kemampuan menentukan kapan, untuk apa, dan bagaimana teknologi digunakan untuk mendukung pembelajaran matematika.

Salah satu teknologi yang relevan dengan karakteristik pembelajaran matematika adalah *virtual manipulatives*, yaitu representasi digital objek matematika yang memungkinkan peserta didik mengamati, memindahkan, mengubah, dan mengeksplorasi konsep secara dinamis (Moyer et al., 2002). Polypad merupakan salah satu platform yang menyediakan berbagai manipulatif virtual untuk merepresentasikan konsep bilangan, pecahan, geometri, aljabar, serta data dan probabilitas (Ochogboju & Díez-Palomar, 2025). Karakteristik tersebut memungkinkan guru menghadirkan pembelajaran yang lebih visual, interaktif, dan eksploratif serta memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk membangun pemahaman melalui manipulasi berbagai representasi matematika (Durmuş & Karakirik, 2006; Hoe & Jeremy, 2014). Namun, keberadaan teknologi tidak secara otomatis menghasilkan pembelajaran yang efektif karena manfaat pedagogisnya sangat bergantung pada kemampuan guru dalam memilih representasi, menghubungkannya dengan tujuan pembelajaran, dan merancang aktivitas yang mendorong eksplorasi serta penalaran matematis (Polly, 2024; Rakes et al., 2022). Oleh karena itu, pengenalan Polypad perlu ditempatkan dalam kerangka penguatan TPACK, bukan sekadar sebagai pelatihan penggunaan aplikasi.

SD Inpres Baru memiliki potensi untuk mengembangkan pembelajaran berbasis teknologi karena guru telah mengenal dan menggunakan perangkat digital dalam aktivitas pembelajaran. Namun, hasil identifikasi kondisi awal menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi belum sepenuhnya berkembang dari penggunaan untuk kebutuhan administratif dan penyajian materi menuju pemanfaatan yang bersifat pedagogis dan interaktif. Pembelajaran matematika masih cenderung menggunakan buku teks, papan tulis, dan penyajian materi secara konvensional, sehingga peluang penggunaan media digital untuk menghadirkan pengalaman belajar yang lebih visual, manipulatif, dan eksploratif belum optimal. Permasalahan utama mitra bukan semata-mata keterbatasan perangkat, tetapi kesenjangan antara penguasaan teknologi dasar dan kemampuan mengintegrasikan teknologi dengan pedagogi serta konten matematika. Selain itu, guru masih membutuhkan pengalaman praktik dalam merancang pembelajaran digital, mengoperasikan media interaktif, melakukan *microteaching*, memperoleh umpan balik, dan memperbaiki rancangan pembelajaran secara berkelanjutan.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa intervensi yang dibutuhkan bukan pelatihan teknis yang bersifat satu arah, melainkan pengembangan profesional yang berbasis praktik dan kontekstual. Penguatan kompetensi guru perlu memberikan kesempatan untuk belajar melalui proses *learning by doing*, mulai dari pemahaman konsep, praktik penggunaan teknologi, perancangan pembelajaran, *microteaching*, refleksi, umpan balik, hingga pendampingan implementasi. Pendekatan kolaboratif, praktis, dan reflektif relevan untuk membantu guru mentransformasikan pengetahuan teknologi menjadi kemampuan pedagogis yang dapat diterapkan dalam pembelajaran matematika. Dengan demikian, pelatihan Polypad berbasis TPACK diarahkan untuk menjembatani kesenjangan antara kemampuan operasional guru dan kemampuan mengintegrasikan teknologi secara bermakna dalam pembelajaran.

Vol. 6, No. 6 –November 2026, Hal. 4133-4145
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1628

Meskipun kajian mengenai literasi digital, TPACK, dan manipulatif virtual telah berkembang, masih terdapat kebutuhan untuk memperkuat keterhubungan antara pelatihan penggunaan teknologi tertentu dengan pengalaman implementasi guru dalam konteks nyata sekolah dasar. Kesenjangan tersebut terutama terlihat pada kebutuhan untuk mengintegrasikan penguasaan fitur teknologi dengan pemilihan representasi matematika, strategi pedagogis, perancangan aktivitas eksploratif, dan praktik pembelajaran secara utuh (Kholid et al., 2023; Njiku et al., 2021). Kebaruan kegiatan ini terletak pada penempatan Polypad sebagai wahana penguatan literasi digital pedagogis berbasis TPACK melalui rangkaian pelatihan konseptual, praktik penggunaan Polypad, perancangan pembelajaran matematika, microteaching, umpan balik, dan pendampingan. Pendekatan tersebut menggeser orientasi dari *technology training* yang berfokus pada kemampuan teknis menuju pengembangan kemampuan guru untuk memilih dan mengintegrasikan teknologi sesuai tujuan, konten matematika, strategi pedagogis, dan kebutuhan peserta didik.

Berdasarkan kondisi mitra, kesenjangan kompetensi, dan kebutuhan pengembangan profesional tersebut, kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan meningkatkan literasi digital pedagogis guru sekolah dasar melalui pemanfaatan Polypad sebagai media pembelajaran matematika interaktif berbasis *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK). Secara khusus, kegiatan diarahkan untuk meningkatkan pemahaman guru mengenai literasi digital pedagogis dan pemanfaatan Polypad, keterampilan mengoperasikan serta memilih fitur manipulatif virtual sesuai konsep matematika, kemampuan mengintegrasikan teknologi dengan strategi pedagogis dan konten matematika, serta kemampuan merancang dan mempraktikkan pembelajaran matematika yang visual, interaktif, dan eksploratif. Selain itu, kegiatan ini diarahkan untuk memperkuat sikap positif, kepercayaan diri, dan kesiapan guru dalam mengembangkan pembelajaran berbasis teknologi digital. Ketercapaian tujuan tersebut dievaluasi melalui pengukuran pengetahuan guru, penilaian keterampilan penggunaan Polypad, penilaian kemampuan integrasi TPACK, observasi praktik pembelajaran, serta angket sikap dan kesiapan guru.

2. METODE

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat dilaksanakan di SD Inpres Baru dengan melibatkan 15 guru sebagai mitra sasaran. Kegiatan menggunakan pendekatan pelatihan dan pendampingan berbasis praktik (*learning by doing*) yang dilaksanakan melalui tahapan identifikasi kebutuhan, sosialisasi dan penguatan konsep literasi digital serta TPACK, workshop dan praktikum penggunaan Polypad, perancangan skenario pembelajaran matematika, *microteaching*, pemberian umpan balik dan revisi, serta pendampingan implementasi (DuFour et al., 2024; Joyce et al., 2015). Pelaksanaan kegiatan diarahkan tidak hanya pada penguasaan teknis aplikasi, tetapi pada kemampuan guru mengintegrasikan Polypad dengan tujuan pembelajaran, strategi pedagogis, dan konten matematika (Dick et al., 2021). Data dikumpulkan melalui *pre-test* dan *post-test*, rubrik keterampilan penggunaan Polypad, rubrik penilaian integrasi TPACK dalam rancangan pembelajaran, lembar observasi *microteaching* dan praktik pembelajaran, angket sikap dan kesiapan guru, wawancara terbatas, serta dokumentasi kegiatan (Sugiyono, 2012).

Pengukuran perubahan pengetahuan guru dilakukan melalui pre-test dan post-test yang diberikan sebelum dan setelah pelaksanaan pelatihan. Kedua instrumen tersebut digunakan untuk mengevaluasi pemahaman guru mengenai literasi digital pedagogis, konsep *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK), serta pemanfaatan aplikasi Polypad dalam pembelajaran matematika sekolah dasar. *Pre-test* digunakan untuk mengidentifikasi pengetahuan awal peserta, sedangkan *post-test* digunakan untuk mengetahui perubahan pengetahuan setelah guru mengikuti rangkaian sosialisasi, pelatihan, praktik, dan pendampingan. Hasil kedua pengukuran dibandingkan secara deskriptif untuk menggambarkan perubahan pengetahuan peserta sebagai salah satu indikator ketercapaian program pengabdian. Evaluasi dilakukan secara deskriptif kuantitatif dan kualitatif untuk mengetahui perubahan kompetensi guru dan ketercapaian program (Sugiyono, 2021). Data kuantitatif dianalisis menggunakan skor rata-rata, persentase ketercapaian, dan selisih skor sebelum dan sesudah kegiatan. Persentase ketercapaian dihitung dengan rumus :

Vol. 6, No. 6 –November 2026, Hal. 4133-4145
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1628

$$P = \frac{f}{N} \times 100\%,$$

Keterangan:
P adalah persentase ketercapaian,
f adalah jumlah guru yang memenuhi kriteria,
N adalah jumlah seluruh guru peserta.
Peningkatan skor dihitung menggunakan rumus:

$$\Delta = \bar{X}_{\text{post}} - \bar{X}_{\text{pre}}$$

sedangkan persentase peningkatan relatif dihitung dengan rumus:

$$I = \left[\frac{(\bar{X}\text{post} - \bar{X}\text{pre})}{\bar{X}\text{pre}}\right] \times 100\%$$

Keterangan:
$\bar{X}$pre = skor rata-rata sebelum pelatihan
$\bar{X}$post = skor rata-rata setelah pelatihan
Δ = selisih skor rata-rata
I = persentase peningkatan relatif (Arikunto, 2015).
Kriteria keberhasilan program dalam kegiatan ini ditetapkan sebesar 80%. Data kualitatif dari observasi, wawancara, refleksi, dan catatan pendampingan dianalisis melalui reduksi data, pengelompokan berdasarkan tema, interpretasi, dan penarikan kesimpulan untuk mengidentifikasi kemudahan, kesulitan, perubahan kepercayaan diri, kemampuan integrasi TPACK, kendala implementasi, dan peluang keberlanjutan pemanfaatan Polypad(Miles et al., 2014).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

1. Pelaksanaan Program

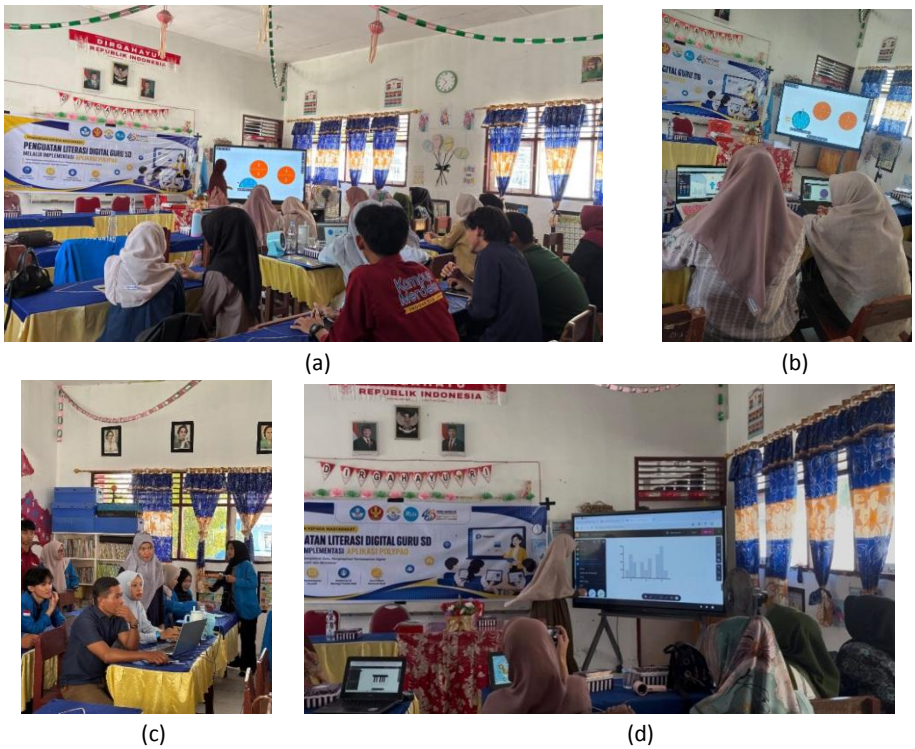
Kegiatan pengabdian kepada masyarakat dilaksanakan di SD Inpres Baru dengan melibatkan 15 guru sebagai peserta. Program dilaksanakan melalui pendekatan pelatihan dan pendampingan berbasis praktik yang mengintegrasikan penguatan pemahaman konseptual, pengembangan keterampilan penggunaan teknologi, dan penerapannya dalam perancangan pembelajaran matematika. Pelaksanaan program diawali dengan identifikasi kebutuhan untuk memperoleh gambaran mengenai kondisi awal, pengalaman penggunaan teknologi, serta kebutuhan pengembangan kompetensi digital pedagogis guru. Berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan, kegiatan dilanjutkan dengan sosialisasi dan penguatan konsep literasi digital pedagogis serta *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK). Pada tahap ini, guru diperkenalkan pada pentingnya keterpaduan antara teknologi, strategi pedagogis, dan konten matematika agar penggunaan media digital tidak hanya berorientasi pada penguasaan teknis, tetapi juga mendukung pencapaian tujuan pembelajaran.

Tahap berikutnya berupa workshop dan praktik penggunaan aplikasi Polypad. Guru memperoleh kesempatan untuk mengeksplorasi fitur-fitur manipulatif virtual serta mencoba berbagai representasi matematika yang dapat digunakan untuk menjelaskan konsep bilangan, pecahan, dan geometri. Pengalaman praktik tersebut kemudian dikembangkan melalui penyusunan skenario pembelajaran matematika berbasis Polypad dengan mempertimbangkan kesesuaian antara materi, tujuan pembelajaran, dan aktivitas belajar peserta didik. Setelah menyusun rancangan pembelajaran, guru mengikuti kegiatan *microteaching* untuk mempraktikkan penggunaan Polypad dalam simulasi pembelajaran. Melalui kegiatan ini, guru memperoleh kesempatan untuk menguji rancangan pembelajaran, mempraktikkan strategi fasilitasi eksplorasi matematika, serta menerima umpan balik sebagai dasar perbaikan. Rangkaian kegiatan selanjutnya dilengkapi dengan revisi

Vol. 6, No. 6 –November 2026, Hal. 4133-4145
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1628

rancangan dan pendampingan implementasi guna memperkuat kesiapan guru dalam memanfaatkan Polypad pada pembelajaran matematika.

Dokumentasi pelaksanaan program disajikan pada Gambar 1, yang memperlihatkan kegiatan sosialisasi dan pemaparan materi, praktik penggunaan aplikasi Polypad, pendampingan guru, serta microteaching. Selanjutnya, Tabel 1 menyajikan tahapan kegiatan beserta hasil dan status keterlaksanaannya. Berdasarkan Tabel 1, seluruh tahapan program telah terlaksana sesuai dengan rancangan kegiatan, mulai dari identifikasi kebutuhan hingga evaluasi. Keterlaksanaan tahapan tersebut menunjukkan bahwa program tidak hanya berfokus pada pengenalan aplikasi, tetapi juga menyediakan pengalaman belajar berbasis praktik, refleksi, dan pendampingan untuk mendukung pengembangan kompetensi digital pedagogis guru.



(a) (b)

(c) (d)

Gambar 1. Dokumentasi Pelaksanaan Pelatihan dan Pendampingan :
(a) sosialisasi/pemaparan materi; (b) praktik penggunaan Polypad; (c) pendampingan guru; dan (d) microteaching.

Tabel 1. Keterlaksanaan Tahapan Program

No.	Tahapan Kegiatan	Hasil	Status
1	Identifikasi kebutuhan	Profil kebutuhan guru	Terlaksana
2	Penguatan konsep	Pemahaman literasi digital dan TPACK	Terlaksana
3	Praktik Polypad	Keterampilan penggunaan aplikasi	Terlaksana
4	Perancangan pembelajaran	Skenario pembelajaran	Terlaksana
5	Microteaching	Praktik pembelajaran	Terlaksana
6	Umpan balik dan revisi	Perbaikan rancangan	Terlaksana
7	Pendampingan	Pengalaman implementasi	Terlaksana
8	Evaluasi	Data capaian program	Terlaksana

Sumber: Data hasil pelaksanaan kegiatan pengabdian, 2026

Pelaksanaan yang sistematis tersebut menunjukkan bahwa program tidak berhenti pada pengenalan aplikasi, tetapi memberikan pengalaman praktik yang mendukung perubahan kompetensi guru.

Vol. 6, No. 6 –November 2026, Hal. 4133-4145
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1628

2. Perubahan Pengetahuan Guru

Perubahan pengetahuan guru dievaluasi melalui perbandingan hasil *pre-test* dan *post-test* yang diberikan sebelum dan setelah pelaksanaan pelatihan. Sebagaimana disajikan pada Tabel 2, rata-rata pengetahuan guru meningkat dari 58,67% pada pengukuran awal menjadi 82,67% pada pengukuran akhir, dengan selisih peningkatan sebesar 24,00 poin persentase. Hasil tersebut menunjukkan adanya peningkatan pemahaman guru terhadap materi yang dievaluasi setelah mengikuti rangkaian kegiatan pengabdian. Capaian rata-rata pada pengukuran akhir juga telah memenuhi kriteria keberhasilan program yang ditetapkan.

Tabel 2. Perubahan Pengetahuan Guru

Indikator	Pre-test	Post-test	Peningkatan
Rata-rata pengetahuan	58,67%	82,67%	24,00 poin
Peningkatan relative			40,91%
Kriteria keberhasilan		≥80%	Tercapai

Sumber: Data hasil pre-test dan post-test peserta pelatihan, 2026

3. Keterampilan Menggunakan Polypad

Hasil penilaian keterampilan penggunaan Polypad disajikan pada Tabel 3. Secara keseluruhan, keterampilan guru mencapai rata-rata 83,33% dengan kategori baik. Kemampuan mengoperasikan aplikasi memperoleh capaian tertinggi sebesar 86,67%, sedangkan kemampuan memilih representasi yang sesuai dengan konsep matematika mencapai 80,00%. Temuan tersebut menunjukkan bahwa guru telah memiliki keterampilan yang baik dalam mengoperasikan Polypad, tetapi aspek pemilihan representasi matematika masih perlu mendapat perhatian dalam pendampingan lanjutan. Selain penguasaan teknis, pengembangan keterampilan perlu diarahkan pada kemampuan memilih fitur dan merancang aktivitas interaktif sesuai tujuan pembelajaran.

Tabel 3. Keterampilan Guru Menggunakan Polypad

Indikator	Skor	Kategori
Mengoperasikan Polypad	86,67%	Sangat Baik
Menggunakan fitur dan virtual manipulatives	83,47%	Baik
Memilih representasi sesuai konsep	80,00%	Baik
Merancang aktivitas interaktif	83,20%	Baik
Rata-rata	83,33%	Baik

Sumber: Hasil evaluasi kegiatan pengabdian kepada masyarakat, 2026.

Skor menunjukkan persentase ketercapaian setiap indikator keterampilan guru dalam menggunakan Polypad. Kategori penilaian mengikuti kriteria yang digunakan dalam evaluasi program.

4. Integrasi TPACK

Hasil penilaian kemampuan integrasi *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) disajikan pada Tabel 4. Rata-rata capaian integrasi TPACK guru mencapai 84,67%. Indikator memfasilitasi eksplorasi menggunakan Polypad memperoleh skor tertinggi sebesar 84,80%, diikuti kesesuaian Polypad dengan konten matematika sebesar 86,67%, integrasi teknologi, pedagogi, dan konten sebesar 84,00%, serta integrasi Polypad dengan strategi pedagogis sebesar 83,20%. Data tersebut menunjukkan bahwa guru telah mampu menghubungkan penggunaan Polypad dengan materi matematika dan aktivitas eksplorasi pembelajaran. Namun, integrasi dengan strategi pedagogis masih menjadi aspek yang perlu diperkuat agar penggunaan teknologi tidak hanya mendukung visualisasi materi, tetapi juga mendorong keterlibatan aktif dan penalaran matematis siswa. Oleh karena itu, pendampingan perlu diarahkan pada perancangan aktivitas yang menyelaraskan fitur Polypad, tujuan pembelajaran, karakteristik materi, dan strategi pembelajaran yang digunakan.

Vol. 6, No. 6 –November 2026, Hal. 4133-4145
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1628

Tabel 4. Kemampuan Integrasi TPACK

Indikator	Skor
Kesesuaian Polypad dengan konten matematika	86,67%
Integrasi Polypad dengan strategi pedagogis	83,20%
Integrasi teknologi, pedagogi, dan konten	84,00%
Memfasilitasi eksplorasi dengan Polypad	84,80%
Rata-rata	84,67%

Sumber: Hasil evaluasi kegiatan pengabdian kepada masyarakat, 2026.

Skor menunjukkan persentase ketercapaian setiap indikator kemampuan guru dalam mengintegrasikan Polypad dengan teknologi, pedagogi, dan konten matematika.

5. Sikap, Kepercayaan Diri, dan Kesiapan Guru

Hasil angket mengenai sikap, kepercayaan diri, dan kesiapan guru dalam menggunakan Polypad disajikan pada Tabel 5. Skor rata-rata keseluruhan mencapai 85,33% dengan kategori sangat baik. Persepsi terhadap kemudahan dan kebermanfaatan Polypad memperoleh skor tertinggi sebesar 86,67%, sedangkan kepercayaan diri guru memperoleh skor 84,00% dengan kategori baik. Adapun kesiapan menggunakan Polypad dan komitmen untuk mengembangkan penggunaannya masing-masing mencapai 85,33% dengan kategori sangat baik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa guru memiliki penerimaan dan kesiapan yang positif terhadap pemanfaatan Polypad dalam pembelajaran matematika. Meskipun demikian, sikap positif dan kesiapan yang dilaporkan melalui angket belum dengan sendirinya membuktikan penggunaan teknologi secara konsisten dalam praktik sehari-hari. Oleh karena itu, diperlukan dukungan sekolah, kesempatan praktik berkelanjutan, dan forum berbagi pengalaman agar kesiapan tersebut dapat diwujudkan dalam pembelajaran nyata.

Tabel 5. Sikap dan Kesiapan Guru

Indikator	Skor	Kategori
Kepercayaan diri	84,00%	Baik
Kemudahan dan kebermanfaatan	86,67%	Sangat Baik
Kesiapan menggunakan Polypad	85,33%	Sangat Baik
Komitmen mengembangkan penggunaan	85,33%	Sangat Baik
Rata-rata	85,33%	Sangat Baik

Sumber: Hasil evaluasi kegiatan pengabdian kepada masyarakat, 2026.

Skor menunjukkan persentase hasil angket pada setiap indikator sikap dan kesiapan guru dalam menggunakan Polypad. Kategori mengikuti kriteria penilaian yang digunakan dalam evaluasi program.

6. Perubahan Praktik Pembelajaran

Hasil observasi praktik pembelajaran sebelum dan setelah pelatihan disajikan pada Tabel 6. Rata-rata keterlaksanaan praktik pembelajaran meningkat dari 57,53% menjadi 84,00%, atau naik sebesar 26,47 poin persentase. Peningkatan terbesar terdapat pada aspek pertanyaan pemantik dan penalaran matematis, yaitu sebesar 28,00 poin, dari 53,33% menjadi 81,33%. Penggunaan Polypad sesuai tujuan pembelajaran meningkat sebesar 26,67 poin, dari 60,00% menjadi 86,67%. Sementara itu, aspek instruksi dan fasilitasi eksplorasi meningkat sebesar 26,40 poin, dari 56,80% menjadi 83,20%, sedangkan refleksi dan asesmen meningkat sebesar 24,80 poin, dari 60,00% menjadi 84,80%.

Temuan pada Tabel 6 menunjukkan adanya peningkatan pada seluruh indikator praktik pembelajaran yang diamati. Namun, aspek pertanyaan pemantik dan penalaran matematis masih memiliki skor akhir terendah, yaitu 81,33%. Hal ini mengindikasikan bahwa kemampuan menggunakan teknologi perlu diiringi penguatan strategi pedagogis, terutama dalam merancang pertanyaan yang mendorong siswa menjelaskan alasan, membandingkan representasi, menemukan pola, dan menarik kesimpulan. Dengan demikian, pendampingan lanjutan perlu menitikberatkan

Vol. 6, No. 6 –November 2026, Hal. 4133-4145
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1628

pada penggunaan Polypad sebagai sarana eksplorasi dan penalaran matematis, bukan hanya sebagai media visualisasi materi.

Tabel 6. Perubahan Praktik Pembelajaran

Indikator	Awal	Akhir	Peningkatan
Penggunaan sesuai tujuan pembelajaran	60,00%	86,67%	26,67
Instruksi dan fasilitasi eksplorasi	56,80%	83,20%	26,40
Pertanyaan pemantik dan penalaran	53,33%	81,33%	28,00
Refleksi dan asesmen	60,00%	84,80%	24,80
Rata-rata	57,53%	84,00%	26,47

Sumber: Hasil observasi praktik pembelajaran dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat, 2026.

Keterangan: Peningkatan dihitung dari selisih skor akhir dan skor awal dalam poin persentase.

7. Dampak Program

Ringkasan perubahan capaian program disajikan pada Tabel 7. Pengetahuan guru meningkat dari 58,67% menjadi 82,67%, keterampilan penggunaan Polypad meningkat dari 56,67% menjadi 83,33%, dan praktik pembelajaran meningkat dari 57,53% menjadi 84,00%. Pada pengukuran akhir, kemampuan integrasi *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) mencapai 84,67%, sedangkan sikap dan kesiapan guru mencapai 85,33%. Selain perubahan skor tersebut, kegiatan juga menghasilkan rancangan pembelajaran berbasis Polypad yang dapat digunakan sebagai dasar penerapan teknologi dalam pembelajaran matematika.

Data pada Tabel 7 memperlihatkan bahwa program menghasilkan capaian pada aspek pengetahuan, keterampilan, integrasi TPACK, praktik pembelajaran, serta sikap dan kesiapan guru. Meskipun rata-rata capaian akhir pada aspek yang diukur berada di atas 80%, hasil tersebut perlu dibedakan dari ketercapaian kriteria pada tingkat individu. Sebagaimana dirinci pada Tabel 8, sebanyak 13 dari 15 guru (86,67%) memenuhi kriteria keberhasilan minimum, sedangkan 2 guru (13,33%) belum mencapainya. Oleh karena itu, hasil program menunjukkan kemajuan pada tingkat kelompok sekaligus menegaskan perlunya pendampingan yang disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing guru.

Tabel 7. Dampak Program

Aspek	Kondisi Awal	Kondisi Akhir
Pengetahuan	58,67%	82,67%
Keterampilan Polypad	56,67%	83,33%
Praktik pembelajaran	57,53%	84,00%
Integrasi TPACK	-	84,67%
Sikap dan kesiapan	-	85,33%
Rancangan pembelajaran berbasis Polypad	Belum tersedia optimal	Tersedia

Sumber: Rekapitulasi hasil evaluasi kegiatan pengabdian kepada masyarakat, 2026.

Keterangan: Tanda "–" menunjukkan bahwa skor kondisi awal tidak tersedia pada tabel untuk indikator tersebut. Keterangan "Belum tersedia optimal" dan "Tersedia" menggambarkan kondisi rancangan pembelajaran berbasis Polypad sebelum dan setelah kegiatan, berdasarkan dokumentasi program.

8. Tingkat Kesulitan dan Peluang Pengembangan

Ketercapaian guru berdasarkan kriteria keberhasilan minimum disajikan pada Tabel 8. Dari 15 guru yang mengikuti program, sebanyak 13 guru (86,67%) mencapai skor minimal 80%, sedangkan 2 guru (13,33%) belum mencapai kriteria tersebut. Hasil ini menunjukkan bahwa sebagian besar peserta telah memenuhi kriteria keberhasilan yang ditetapkan, tetapi capaian program belum merata pada seluruh peserta.

Berdasarkan evaluasi kegiatan, kesulitan yang teridentifikasi berkaitan dengan pemilihan manipulatif virtual yang sesuai, penentuan representasi matematika berdasarkan karakteristik

Vol. 6, No. 6 –November 2026, Hal. 4133-4145
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1628

materi, dan penyusunan pertanyaan pemantik yang mendorong penalaran matematis siswa. Perbedaan kemampuan awal dan keterbatasan waktu praktik juga menjadi hal yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan pendampingan. Meskipun demikian, data yang tersedia belum cukup untuk menetapkan faktor penyebab secara individual terhadap dua guru yang belum mencapai kriteria keberhasilan.

Temuan tersebut menunjukkan perlunya pendampingan lanjutan yang lebih terarah, terutama dalam memilih representasi matematika, merancang aktivitas eksploratif, dan menyusun pertanyaan yang mendorong siswa menjelaskan proses berpikirnya. Pada tingkat sekolah, keberlanjutan program dapat didukung melalui pembentukan komunitas praktik guru, pengembangan bank aktivitas matematika berbasis Polypad, serta integrasi aktivitas Polypad ke dalam Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD), modul ajar, dan asesmen pembelajaran. Strategi ini dapat membantu guru menerapkan teknologi secara lebih terencana dan sesuai dengan tujuan pembelajaran matematika.

Tabel 8. Ketercapaian Guru Berdasarkan Kriteria Keberhasilan

Status Guru	Jumlah	Persentase
Mencapai ≥80%	13	86,67%
Belum mencapai ≥80%	2	13,33%
Total	15	100%

Sumber: Hasil evaluasi akhir kegiatan pengabdian kepada masyarakat, 2026.

Keterangan: Kriteria keberhasilan minimum ditetapkan sebesar 80%. Persentase dihitung berdasarkan jumlah guru pada setiap kategori dibandingkan dengan total 15 guru peserta.

PEMBAHASAN

1. Penguatan Literasi Digital Pedagogis melalui Polypad

Pelaksanaan pelatihan dan pendampingan menunjukkan bahwa penguatan literasi digital pedagogis guru perlu dilakukan melalui perpaduan antara pemahaman konseptual dan pengalaman praktik. Hal ini tercermin dari peningkatan pengetahuan guru, yang rata-rata berubah dari 58,67% sebelum pelatihan menjadi 82,67% setelah pelatihan. Perubahan tersebut mengindikasikan bahwa penyampaian materi yang disertai praktik langsung dapat membantu guru memahami pemanfaatan teknologi dalam konteks pembelajaran, bukan hanya sebagai alat bantu penyajian informasi. Dalam pembelajaran matematika, Polypad memberikan kesempatan kepada guru untuk mengeksplorasi berbagai representasi visual dan manipulatif virtual yang dapat digunakan untuk menjelaskan konsep bilangan, pecahan, dan geometri (Akbiyik & Tavİl, 2024; Bouck et al., 2018; Moyer-packenham et al., 2008). Pengalaman tersebut memperluas pemahaman guru mengenai fungsi teknologi sebagai bagian dari strategi pembelajaran yang mendukung eksplorasi konsep matematika (Weigand et al., 2024). Dengan demikian, penguatan literasi digital pedagogis perlu diarahkan pada kemampuan guru dalam memilih dan menggunakan teknologi secara tepat sesuai dengan tujuan pembelajaran dan karakteristik materi.

2. Polypad dan Pengembangan *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) Guru

Capaian integrasi TPACK sebesar 84,67% menunjukkan bahwa guru memiliki kemampuan yang cukup baik dalam menghubungkan penggunaan teknologi dengan strategi pedagogis dan konten matematika. Temuan ini menegaskan bahwa keberhasilan integrasi teknologi tidak hanya ditentukan oleh penguasaan fitur aplikasi, tetapi juga oleh kesesuaian teknologi dengan tujuan pembelajaran, karakteristik materi, dan pendekatan pengajaran yang digunakan. Pandangan tersebut sejalan dengan Kholid et al. (2023), yang menekankan pentingnya keterpaduan pengetahuan teknologi, pedagogi, dan konten dalam merancang pembelajaran. Dalam kegiatan pengabdian ini, keterpaduan tersebut difasilitasi melalui praktik Polypad, penyusunan rancangan pembelajaran, microteaching, pemberian umpan balik, dan revisi rancangan (Kohen et al., 2025). Rangkaian kegiatan tersebut memberikan kesempatan kepada guru untuk mengevaluasi penggunaan media

Vol. 6, No. 6 –November 2026, Hal. 4133-4145
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1628

serta menyesuaikannya dengan kebutuhan pembelajaran sebelum diterapkan di kelas (Li & Li, 2024). Oleh karena itu, Polypad berpotensi mendukung pengembangan TPACK apabila penggunaannya disertai pertimbangan pedagogis yang jelas dan berorientasi pada pemahaman konsep matematika (Kadluba et al., 2025).

3. Perubahan Praktik Pembelajaran Matematika

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa capaian praktik pembelajaran guru meningkat dari 57,53% menjadi 84,00% setelah mengikuti pelatihan dan pendampingan. Peningkatan ini mengindikasikan adanya perbaikan dalam penerapan teknologi pada kegiatan pembelajaran, khususnya dalam menghubungkan media dengan tujuan pembelajaran dan aktivitas peserta didik. Polypad memungkinkan guru menghadirkan representasi matematika yang dapat dimanipulasi sehingga konsep abstrak dapat dieksplorasi melalui tampilan visual dan interaktif (Ahmad & Siller, 2024). Penggunaan representasi tersebut berpotensi memberi kesempatan kepada peserta didik untuk mengamati perubahan, membandingkan bentuk representasi, serta mengembangkan pemahaman konsep melalui aktivitas belajar yang lebih aktif (Bach et al., 2024). Meskipun demikian, kemampuan menggunakan media belum sepenuhnya menjamin terselenggaranya pembelajaran yang mendorong penalaran matematis secara mendalam. Aspek penyusunan pertanyaan pemantik dan fasilitasi penalaran masih perlu diperkuat agar guru mampu mengarahkan peserta didik untuk menjelaskan alasan, menemukan pola, membandingkan strategi, dan menarik kesimpulan berdasarkan hasil eksplorasi (Wæge & Mosvold, 2026). Dengan demikian, pelatihan penggunaan Polypad perlu terus diintegrasikan dengan pengembangan strategi bertanya dan fasilitasi diskusi matematis.

4. Sikap, Kepercayaan Diri, dan Keberlanjutan Program

Capaian sikap dan kesiapan guru sebesar 85,33% menunjukkan respons yang positif terhadap pemanfaatan Polypad dalam pembelajaran matematika. Pengalaman mencoba fitur aplikasi, menyusun aktivitas pembelajaran, dan memperoleh umpan balik dapat membantu guru membangun keyakinan dalam menggunakan teknologi untuk mendukung kegiatan mengajar (Siyam et al., 2025). Temuan ini sejalan dengan Amemasor et al. (2025), yang menempatkan pengalaman belajar dan dukungan terhadap guru sebagai aspek penting dalam pengintegrasian teknologi pendidikan. Namun, sikap positif dan kesiapan yang ditunjukkan setelah pelatihan tidak serta-merta membuktikan bahwa penggunaan Polypad akan diterapkan secara konsisten dalam jangka panjang(Amemasor, Oppong, Ghansah, Benuwa, & Agbeko, 2025). Keberlanjutan pemanfaatannya juga memerlukan kesempatan praktik, dukungan lingkungan sekolah, serta akses terhadap sumber belajar yang relevan (Siyam et al., 2025). Oleh sebab itu, pendampingan pascapelatihan dan kolaborasi antarguru perlu menjadi bagian dari tindak lanjut agar pengetahuan dan keterampilan yang diperoleh dapat diterapkan secara berkelanjutan. Pengembangan komunitas praktik dan berbagi rancangan pembelajaran juga dapat membantu guru saling bertukar pengalaman dalam mengatasi kesulitan serta mengembangkan aktivitas matematika berbasis teknologi (Çolpan Güngördü & Yıldırım, 2025).

5. Kendala dan Implikasi Program

Meskipun sebagian besar peserta telah mencapai kriteria keberhasilan yang ditetapkan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa 2 dari 15 guru masih memerlukan pendampingan lanjutan. Kesulitan yang teridentifikasi terutama berkaitan dengan pemilihan manipulatif virtual yang sesuai, penentuan representasi matematika berdasarkan materi, serta penyusunan pertanyaan yang mendorong penalaran matematis. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengembangan kompetensi digital pedagogis membutuhkan proses yang lebih berkelanjutan daripada pelatihan singkat yang berfokus pada pengenalan dan praktik aplikasi. Perbedaan kemampuan awal guru serta keterbatasan waktu praktik dan pendampingan merupakan aspek yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan program berikutnya (Fütterer et al., 2024). Namun, data yang tersedia belum cukup untuk

Vol. 6, No. 6 –November 2026, Hal. 4133-4145
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1628

menetapkan penyebab individual mengapa sebagian peserta belum mencapai kriteria keberhasilan, sehingga faktor tersebut perlu dipahami sebagai kebutuhan evaluasi lebih lanjut, bukan sebagai kesimpulan kausal (Amemasor, Oppong, Ghansah, Benuwa, & Agbeko, 2025). Selain itu, kesiapan perangkat dan akses internet perlu diperhatikan dalam penerapan pembelajaran berbasis digital, meskipun data yang tersedia belum menunjukkan sejauh mana kedua faktor tersebut memengaruhi capaian masing-masing peserta (Kormos & Wisdom, 2023). Berdasarkan temuan tersebut, tindak lanjut program disarankan mencakup pendampingan individual, pengembangan bank aktivitas Polypad, integrasi aktivitas ke dalam LKPD dan modul ajar, serta penyusunan asesmen yang mendorong penalaran matematis. Strategi ini diharapkan dapat membantu guru mengembangkan pembelajaran matematika yang tidak hanya memanfaatkan teknologi, tetapi juga mendukung eksplorasi dan pemahaman konsep peserta didik.

4. KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat melalui pelatihan dan pendampingan penggunaan Polypad berhasil mendukung penguatan literasi digital pedagogis guru SD Inpres Baru dalam pembelajaran matematika. Keberhasilan program ditunjukkan oleh peningkatan pengetahuan guru dari 58,67% menjadi 82,67%, keterampilan penggunaan Polypad dari 56,67% menjadi 83,33%, dan praktik pembelajaran dari 57,53% menjadi 84,00%. Selain itu, capaian integrasi *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) mencapai 84,67%, sedangkan sikap dan kesiapan guru dalam memanfaatkan teknologi mencapai 85,33%. Sebanyak 13 dari 15 guru (86,67%) memenuhi kriteria keberhasilan minimal 80%, sementara 2 guru (13,33%) masih memerlukan pendampingan lanjutan, terutama dalam memilih representasi matematika, merancang aktivitas eksploratif, dan menyusun pertanyaan yang mendorong penalaran matematis. Hasil ini menunjukkan bahwa pelatihan yang memadukan penguatan konsep, praktik langsung, perancangan pembelajaran, microteaching, umpan balik, dan pendampingan dapat membantu guru mengintegrasikan teknologi dengan kebutuhan pedagogis dan konten matematika. Untuk menjaga keberlanjutan hasil program, diperlukan pendampingan pascapelatihan, pengembangan komunitas praktik guru, serta penyusunan bank aktivitas Polypad yang dapat diintegrasikan ke dalam LKPD, modul ajar, dan asesmen pembelajaran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim pelaksana menyampaikan terima kasih kepada LPPM Universitas Tadulako atas dukungan pendanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini. Apresiasi juga disampaikan kepada pihak SD Inpres Baru atas dukungan dan fasilitasi selama pelaksanaan kegiatan, serta kepada seluruh guru peserta atas partisipasi aktif dalam pelatihan dan pendampingan penggunaan aplikasi Polypad.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, S., & Siller, H.-S. (2024). Investigating the effect of manipulatives on mathematics achievement: The role of concrete and virtual manipulatives for diverse achievement level groups. *Journal on Mathematics Education*, *15*(3 SE-Articles), 979–1002. https://doi.org/10.22342/jme.v15i3.pp979-1002

Akbiyik, M., & Tavİl, Y. Z. (2024). Virtual Manipulatives and Instructional Strategies for Teaching Mathematical Concepts And Skills to Students With Special Needs. *International Online Journal of Education and Teaching (IOJET)*, *11*(4), 1–12.

Amemasor, S. K., Oppong, S. O., Ghansah, B., Benuwa, B.-B., & Agbeko, M. (2025). The influence of digital professional development and professional learning communities in the relationship between school digital preparedness and digital instructional integration. *PLOS ONE*, *20*(7), e0328883. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0328883

Amemasor, S. K., Oppong, S. O., Ghansah, B., Benuwa, B.-B., & Essel, D. D. (2025). A systematic review on the impact of teacher professional development on digital instructional integration

Vol. 6, No. 6 –November 2026, Hal. 4133-4145
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1628

and teaching practices. *Frontiers in Education*, *10*(1541031). https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1541031

Arikunto, S. (2015). *Dasar-dasar Evaluasi Pendidikan*. Bumi Aksara.

Bach, C. C., Bergqvist, E., & Jankvist, U. T. (2024). Students' dynamic communication while transforming mathematical representations in a dynamic geometry environment. *ZDM – Mathematics Education*, *56*(4), 543–557. https://doi.org/10.1007/s11858-024-01575-x

Bo, N. S. W. (2025). OECD digital education outlook 2023: Towards an effective education ecosystem. *Hungarian Educational Research Journal*, *15*(2), 284–289. https://doi.org/10.1556/063.2024.00340

Bouck, E. C., Satsangi, R., & Park, J. (2018). The Concrete–Representational–Abstract Approach for Students With Learning Disabilities: An Evidence-Based Practice Synthesis. *Remedial and Special Education*, *39*(4), 211–228. https://doi.org/10.1177/0741932517721712

Çolpan Güngördü, D., & Yıldırım, Z. (2025). An online community of practice for teacher professional development on technology integration as cognitive tools in mathematics teaching. *Education and Information Technologies*, *30*(9), 12213–12247. https://doi.org/10.1007/s10639-024-13262-1

Dick, W., Carey, L., & Carey, J. O. (2021). *The Systematic Design of Instruction*. Pearson. https://books.google.co.id/books?id=2D07zgEACAAJ

DuFour, R., DuFour, R., Eaker, R., Many, T. W., Mattos, M., & Muhammad, A. (2024). *Learning by Doing: A Handbook for Professional Learning Communities at Work®(A practical guide for implementing the PLC process and transforming schools)*. Solution Tree Press. https://books.google.co.id/books?id=heOp0AEACAAJ

Durmuş, S., & Karakirik, E. (2006). Virtual manipulatives in mathematics education : a theoretical framework. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, *5*(1), 117–123.

Fütterer, T., Backfisch, I., & Lachner, A. (2024). Teachers' trajectories of technology integration during participation in an online professional development program. *Zeitschrift Für Erziehungswissenschaft*, *27*(3), 769–801. https://doi.org/10.1007/s11618-024-01251-6

Hoe, L. E. E. N., & Jeremy, T. B. L. (2014). The Role Of Virtual Manipulatives On The Concrete-Pictorial-Abstract Approach In Teaching Primary Mathematics. *The Electronic Journal of Mathematics and Technology*, *8*(2), 102–121.

Joyce, B. R., Weil, M., & Calhoun, E. (2015). *Models of Teaching*. Pearson. https://books.google.co.id/books?id=eG7hnQEACAAJ

Kadluba, A., Strohmaier, A., Schons, C., & Obersteiner, A. (2025). How much C is in TPACK? A systematic review on the assessment of TPACK in mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, *118*(2), 169–199. https://doi.org/10.1007/s10649-024-10357-x

Kholid, M. N., Hendriyanto, A., Sahara, S., Muhaimin, L. H., Juandi, D., Sujadi, I., Kuncoro, K. S., & Adnan, M. (2023). A systematic literature review of Technological, Pedagogical and Content Knowledge (TPACK) in mathematics education: Future challenges for educational practice and research. *Cogent Education*, *10*(2), 2269047. https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2269047

Kohen, Z., Schwartz-Aviad, L., & Peleg, T. (2025). Who moved my triangle? Pre- and in-service teachers inquiring in a mathematics lab. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, *56*(1), 130–158. https://doi.org/10.1080/0020739X.2023.2199314

Kormos, E., & Wisdom, K. (2023). Digital divide and teaching modality: It's role in technology and instructional strategies. *Education and Information Technologies*, *28*(8), 9985–10003. https://doi.org/10.1007/s10639-022-11488-5

Li, M., & Li, B. (2024). Unravelling the dynamics of technology integration in mathematics education: A structural equation modelling analysis of TPACK components. *Education and Information Technologies*, *29*(17), 23687–23715. https://doi.org/10.1007/s10639-024-12805-w

Li, M., Vale, C., Tan, H., & Blannin, J. (2025). A systematic review of TPACK research in primary mathematics education. *Mathematics Education Research Journal*, *37*, 281–311. https://doi.org/10.1007/s13394-024-00491-3

Vol. 6, No. 6 –November 2026, Hal. 4133-4145
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1628

Mainali, B. (2021). Representation in Teaching and Learning Mathematics. *International Journal of Education in Mathematics, Science, and Technology (IJEMST)*, *9*(1), 1–21. https://doi.org/10.46328/ijemst.1111

Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldana, J. (2014). Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook. In *SAGE* (3rd ed.). SAGE. https://ia903100.us.archive.org/0/items/spradleyanalisisdatakualitatifmodeletnografi/Matthew_Miles%2C_Michael_Hberman%2C_Johnny_Sdana-Qualitative_Data_Analysis__A_Methods_Sourcebook-Sage_%282014%29%5B1%5D.pdf

Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge : A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record*, *108*(6), 1017–1054. https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x

Moyer-packenham, P. S., Salkind, G., & Bolyard, J. J. (2008). Virtual Manipulatives Used by K-8 Teachers for Mathematics Instruction : Considering Mathematical , Cognitive , and Pedagogical Fidelity. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, *8*(3), 202–218.

Moyer, P. S., Bolyard, J. J., & Spikell, M. A. (2002). What Are Virtual Manipulatives? *Teaching Children Mathematics*, *8*(6), 372–377. https://doi.org/10.5951/TCM.8.6.0372

Njiku, J., Mutarutinya, V., & Maniraho, J. F. (2021). Building Mathematics Teachers ' TPACK Through Collaborative Lesson Design Activities. *Contemporary Educational Technology*, *13*(2), 1–14. https://doi.org/10.30935/cedtech/9686

Ochogboju, A. O., & Díez-Palomar, J. (2025). Modeling Concrete and Virtual Manipulatives for Mathematics Teacher Training: A Case Study in ICT-Enhanced Pedagogies. *Information*, *16*(698), 1–16. https://doi.org/10.3390/info16080698

OECD. (2025). *Preparing Teachers for Digital Education: Continuing Professional Learning on Digital Skills and Pedagogies*.

Polly, D. (2024). Examining TPACK Enactment in Elementary Mathematics with Various Learning Technologies. *Education Sciences*, *14*(1091), 1–14. https://doi.org/10.3390/educsci14101091

Rakes, C. R., Stites, M. L., Ronau, R. N., Bush, S. B., Fisher, M. H., Safi, F., Desai, S., Schmidt, A., Andreasen, J. B., Saderholm, J., Amick, L., Mohr-schroeder, M. J., & Viera, J. (2022). Teaching Mathematics with Technology : TPACK and Effective Teaching Practices. *Education Sciences*, *12*(133), 1–16. https://doi.org/10.3390/educsci12020133

Siyam, Y., Siyam, N., Hussain, M., & Alqaryouti, O. (2025). Evaluating technology integration in education: a framework for professional development. *Discover Education*, *4*(1), 53. https://doi.org/10.1007/s44217-025-00448-z

Sugiyono. (2012). *Metode Penelitian Pendidikan*. Alfabeta.

Sugiyono. (2021). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.

Wæge, K., & Mosvold, R. (2026). Perspectives of questioning practice in ambitious mathematics teaching. *Research in Mathematics Education*, 1–24. https://doi.org/10.1080/14794802.2025.2609106

Weigand, H.-G., Trgalova, J., & Tabach, M. (2024). Mathematics teaching, learning, and assessment in the digital age. *ZDM – Mathematics Education*, *56*(4), 525–541. https://doi.org/10.1007/s11858-024-01612-9

Žakelj, A., & Klančar, A. (2022). The Role of Visual Representations in Geometry Learning. *European Journal of Educational Research*, *11*(3), 1393–1411. https://doi.org/10.12973/eu-jer.11.3.1393