ETDC INDONESIA
JURNAL ABDIMAS PATIKALA
Vol. 6, No. 2, Tahun 2026 (hal. 4824-4832)
e-ISSN: 2808-2893
p-ISSN: 2808-7658

PEMBERDAYAAN KELOMPOK GURU DESA BINAAN BESULUTU MELALUI HOLOGRAM 3D UNTUK MEWUJUDKAN SMART CLASSROOM

Andi Kaharuddin[1*], Ramli[2], Sriwidiah Rosalina Bst.[3], Heny Sri Astutik[4], Miftahul Janna[5], Fitri Arniati[6], Mulyati[7], Nely Salu Padang[8], Shafriaty Kepa[9], Nurfaidah Syam[1]

[1]Program Studi Pendidikan Matematika, Universitas Lakidende, Unaaha, Indonesia
[2]Program Studi Pendidikan Bahasa Inggris, Universitas Lakidende, Unaaha, Indonesia
[3]Program Studi Desain Komunikasi Visual, Universitas Muhammadiyah Kendari, Kendari, Indonesia
[4]Program Studi Pendidikan matematika, Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong, Sorong, Indonesia
[5]Program Studi Pendidikan Jasmani, Kesehatan, dan Rekreasi, Fakultas Ilmu Keolahragaan dan Kesehatan, Universitas Negeri Makassar, Makassar, Indonesia.
[6]Program Studi Pendidikan Bahasa Inggris, Fakultas Pendidikan Bahasa, Sosial, dan Olahraga, Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong, Sorong, Indonesia.
[7]Program Studi Pendidikan Matematika, STKIP YPUP Makassar, Makassar, Indonesia.
[8]Program Studi Diploma III Manajemen Keuangan, Institut Jambatan Bulan, Mimika, Indonesia
[9]Pendidikan matematika, Fakultas keguruan dan ilmu pendidikan, Universitas Banda Naira, Indonesia
andikaharuddinunismuhmks@gmail.com
ramli@gmail.com
sriwidiah@gmail.com
henysriastutik1@gmail.com
miftahuljanna.sm@gmail.com
fitrianti@gmail.com
mulyati@gmail.com
nelysalu@gmail.com
syafriatikepa@gmail.com
nurfaidahsyan@gmail.com

Abstract

This community service program addressed limited teacher capacity to integrate technology, pedagogy, and geometry content, as well as the lack of affordable three-dimensional teaching media at a rural junior high school. The activity aimed to strengthen teachers' instructional competence and support spatial geometry learning through a participatory hologram-based classroom program. The program involved 15 teachers and 60 students at SMP Negeri 2 Besulutu, Konawe, Southeast Sulawesi. Implementation followed five stages: needs analysis and baseline assessment; design and fabrication; socialization and workshops; classroom implementation; and mentoring and evaluation. Teachers participated in needs identification, hands-on fabrication and assembly, content development, media operation, and classroom practice. The program produced one master hologram unit, eight low-cost units, and eight digital geometry contents. Against planned outputs of 15 low-cost units and 10 digital contents, the realized products represented 53.3% and 80.0% of the respective targets; therefore, the product target was partially achieved. The mean teacher competence score rose from 46.5 to 84.9, with a normalized gain of 0.72. The mean student spatial literacy score increased from 53.9 to 77.9, with a normalized gain of 0.52; 57 of 60 students reached the minimum score of 70. These descriptive results provide an initial picture of program outcomes, while the single-school pre-post design does not establish causal effects. Continued mentoring, completion of the remaining products, maintenance, and follow-up assessment are recommended.

Keywords: Teacher Empowerment; Three-Dimensional Hologram; Geometry Learning; Spatial Literacy; Participatory Training

Abstrak

Kegiatan pengabdian ini merespons keterbatasan kemampuan guru dalam mengintegrasikan teknologi, pedagogi, dan materi geometri serta belum tersedianya media tiga dimensi yang terjangkau di sekolah

*Correspondent Author: andikaharuddinunismuhmks@gmail.com

menengah pertama wilayah perdesaan. Kegiatan bertujuan memperkuat kompetensi pembelajaran guru dan mendukung pembelajaran geometri melalui program kelas berbasis hologram yang partisipatif. Program melibatkan 15 guru dan 60 siswa SMP Negeri 2 Besulutu, Kabupaten Konawe, Sulawesi Tenggara. Pelaksanaan mencakup lima tahap: analisis kebutuhan dan pengukuran awal; desain dan fabrikasi; sosialisasi dan lokakarya; penerapan di kelas; serta pendampingan dan evaluasi. Guru terlibat dalam identifikasi kebutuhan, praktik fabrikasi dan perakitan, pengembangan konten, pengoperasian media, serta praktik penerapannya di kelas. Program menghasilkan satu unit hologram master, delapan unit berbiaya rendah, dan delapan konten geometri digital. Dibandingkan dengan target 15 unit berbiaya rendah dan 10 konten digital, realisasi tersebut masing-masing mencapai 53,3% dan 80,0%; dengan demikian, target produk baru tercapai sebagian. Rerata skor kompetensi guru meningkat dari 46,5 menjadi 84,9 dengan nilai gain ternormalisasi 0,72. Rerata literasi spasial siswa naik dari 53,9 menjadi 77,9 dengan nilai gain ternormalisasi 0,52; 57 dari 60 siswa mencapai skor minimal 70. Hasil deskriptif ini memberikan gambaran capaian program, tetapi desain satu sekolah dengan pengukuran sebelum dan sesudah belum dapat membuktikan pengaruh kausal. Pendampingan, penyelesaian sisa target produk, pemeliharaan, dan evaluasi tindak lanjut direkomendasikan.

Kata kunci: Pemberdayaan Guru; Hologram 3D; Pembelajaran Geometri; Literasi Spasial; Pelatihan Partisipatif

Pendahuluan

Geometri ruang menuntut peserta didik menghubungkan representasi visual dengan sifat dan relasi matematis suatu objek. Ketika bangun tiga dimensi hanya disajikan melalui gambar dua dimensi atau penjelasan verbal, peserta didik perlu membayangkan rotasi, bagian, dan hubungan antarsisi secara mental. Penalaran spasial karena itu menjadi bagian penting dalam pemecahan masalah geometri, tetapi visualisasi saja tidak cukup; siswa juga perlu mengaitkan tampilan objek dengan pengetahuan tentang sifat-sifat geometrinya (Burte, Gardony, Hutton, & Taylor, 2017; Fujita, Kondo, Kumakura, Kunimune, & Jones, 2020; Harris, Logan, & Lowrie, 2023; Ishikawa & Newcombe, 2021).

Ketersediaan media visual yang sesuai juga berkaitan dengan kemampuan guru memilih teknologi dan mengintegrasikannya dengan tujuan pembelajaran serta materi. Kerangka TPACK menempatkan pengetahuan teknologi, pedagogi, dan konten sebagai unsur yang perlu dipadukan dalam keputusan mengajar (Mishra & Koehler, 2006; Li, Vale, Tan, & Blannin, 2025; Seifert & Lindmeier, 2024; Yildiz & Arpaci, 2024). Pada pembelajaran geometri, hologram menyediakan representasi tiga dimensi yang dapat membantu visualisasi, tetapi hasilnya bergantung pada materi, rancangan pedagogis, dan cara penerapan. Studi tentang hologram di kelas dan proyeksi piramida melaporkan manfaat serta keterbatasan yang beragam, sementara meta-analisis menemukan efek rata-rata positif dengan variasi antarkonteks (Awi, Minggi, & Ermayanti, 2023; Fokides & Bampoukli, 2024; Hoon & Shaharuddin, 2019; Kaharuddin, Arsyad, & Asdar, 2023; Prado Ortega et al., 2020; Yu, Li, & Wang, 2024).

Kebutuhan tersebut tampak di SMP Negeri 2 Besulutu, Kabupaten Konawe. Berdasarkan studi pendahuluan pada 12 Agustus 2025, sekolah belum memiliki alat peraga berbasis teknologi informasi; rasio alat peraga konvensional terhadap siswa sekitar 1:63. Rerata nilai geometri ruang tercatat 58,4, di bawah kriteria ketuntasan minimal 70, dan 82% siswa belum berhasil pada soal yang memerlukan manipulasi objek mental. Pada sisi guru, rerata awal kompetensi integrasi teknologi, pedagogi, dan konten sebesar 46,5 dari 100, sedangkan skor pengetahuan teknologi sebesar 35 dari 100. Kondisi ini menunjukkan perlunya solusi yang menggabungkan penguatan kemampuan guru dan ketersediaan media yang dapat dibuat serta digunakan dengan sumber daya terbatas.

Penelitian pengembangan instrumen kompetensi TPCK-S untuk pengajaran matematika berbasis hologram memberikan dasar untuk memetakan keterampilan guru secara lebih terarah (Kaharuddin, García García, Magfirah, & Yulismayanti, 2025; Chang, Annisa, & Chen, 2025; Fabian, Backfisch, Kirchner, & Lachner, 2024). Kajian pengabdian dan pelatihan hologram sebelumnya juga menempatkan alih keterampilan, praktik produksi, dan dukungan guru sebagai

bagian dari penguatan kapasitas, bukan hanya pemberian alat (Kaharuddin, Salmawati, Syam, Sukmawati, & Umar, 2025; Diamah et al., 2022; Harjanto, Lie, Wihardini, Pryor, & Wilson, 2018; Sims & Fletcher-Wood, 2021). Berdasarkan kebutuhan itu, program ini mengombinasikan satu unit master untuk penggunaan bersama, unit hologram berbiaya rendah berbasis smartphone, konten digital geometri, dan lokakarya yang melibatkan guru dalam proses pembuatan serta penerapan media.

Artikel ini mendeskripsikan proses pemberdayaan dan capaian program, khususnya pada dua sasaran: penguatan kompetensi guru dan peningkatan ketersediaan produk pembelajaran. Hasil pengukuran siswa digunakan sebagai indikator pendukung pemanfaatan media di kelas. Tujuan artikel adalah menyajikan model pelaksanaan partisipatif, capaian terukur, serta pembelajaran untuk keberlanjutan program di sekolah mitra.

Metode Pelaksanaan

Kegiatan dilaksanakan di SMP Negeri 2 Besulutu, Desa Silea, Kecamatan Besulutu, Kabupaten Konawe, Sulawesi Tenggara. Ruang kelas mitra yang digunakan untuk kegiatan ditunjukkan pada Gambar 1. Program dilaksanakan pada tahun 2026. Mitra sasaran adalah kelompok guru sekolah; 15 guru mengikuti rangkaian pemberdayaan dan pengukuran kompetensi. Sebanyak 60 siswa terlibat dalam pengukuran literasi spasial sebelum dan sesudah penerapan media. Peserta terdiri atas guru dan siswa yang ditetapkan bersama sekolah mitra.



Gambar 1. Ruang kelas mitra tempat kegiatan dilaksanakan.

Pendekatan dan tahapan kegiatan

Program menggunakan pendekatan partisipatif berbasis pembelajaran tindakan. Keterlibatan guru tidak dibatasi pada kehadiran dalam sosialisasi. Guru menyampaikan kebutuhan pembelajaran dan kondisi sarana, mempraktikkan pembuatan piramida transparan serta perakitan frame, mencoba pengoperasian aplikasi, mengembangkan konten geometri, menyusun perangkat ajar, dan mempraktikkan penggunaan media di kelas. Pendekatan ini disusun dalam lima tahap operasional sebagaimana diringkas pada Diagram 1. Rangkaian tersebut menempatkan praktik produksi, pengembangan bahan ajar, penerapan, dan pendampingan sebagai satu proses penguatan kapasitas guru, sejalan dengan temuan mengenai pembelajaran profesional berbasis praktik dan dukungan berkelanjutan (Harjanto et al., 2018; Sims & Fletcher-Wood, 2021).

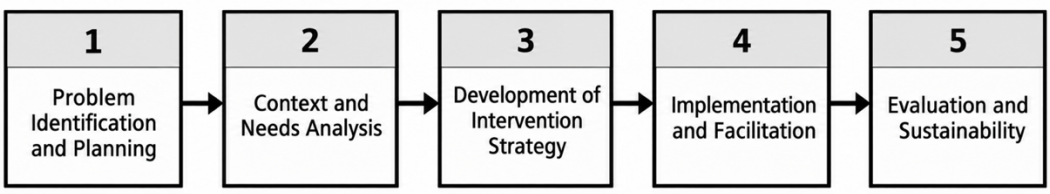


Diagram 1. Tahapan pelaksanaan program pemberdayaan guru.

Tahap pertama mencakup koordinasi dengan mitra, pengukuran awal kompetensi 15 guru, pengukuran literasi spasial siswa, serta identifikasi kebutuhan dan sarana bersama guru. Tahap kedua meliputi desain serta fabrikasi unit master dan unit low-cost, termasuk pembuatan piramida transparan, rangka, dan pengujian fungsi. Pada tahap ketiga, guru mengikuti sosialisasi kelas visual cerdas, kemudian berlatih secara langsung membuat dan merakit media, mengoperasikan aplikasi, mengembangkan konten digital, serta menghubungkan media dengan materi dan strategi pembelajaran. Pada tahap keempat, guru mempraktikkan penggunaan unit master dan unit low-cost dalam pembelajaran geometri. Tahap kelima mencakup team teaching, pendampingan teknis, pengukuran akhir, serta rekapitulasi capaian dan luaran. Dengan demikian, peran guru bergerak dari pemberi informasi kebutuhan menjadi peserta praktik, pengguna, dan calon pengelola media di sekolah.

Teknologi dan bahan pelatihan

Media terdiri atas aplikasi Android yang memuat visual, animasi, audio, navigasi, serta materi kubus dan balok; smartphone sebagai sumber tampilan; dan frame dengan piramida transparan. Materi fabrikasi yang tercatat dalam panduan meliputi plastik mika untuk piramida, akrilik untuk rangka, serta perangkat dasar pemotongan dan perakitan. Guru berlatih memilih mode aplikasi, menempatkan smartphone pada frame, menavigasi materi, mengulang animasi, dan menghubungkan visualisasi dengan pembahasan sifat bangun ruang.

Indikator, pengukuran, dan analisis

Indikator utama adalah perubahan rerata skor kompetensi guru pada skala 0–100 dan capaian produk pembelajaran. Target rerata kompetensi guru ditetapkan minimal 80. Target produk adalah sedikitnya 15 unit hologram low-cost dan 10 konten geometri digital, sedangkan satu unit master disiapkan sebagai perangkat penggunaan bersama. Indikator pendukung adalah rerata skor literasi spasial siswa serta jumlah siswa yang mencapai skor minimal 70. Evaluasi menggunakan instrumen kompetensi TPCK-S yang dikembangkan dan divalidasi dalam penelitian tim sebelumnya (Kaharuddin, García García, Magfirah, & Yulismayanti, 2025). Data sebelum dan sesudah kegiatan dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan rerata, rentang skor yang tersedia, N-gain hasil evaluasi program, serta realisasi produk terhadap target. Data skor mentah individual tidak tersedia untuk analisis ulang; karena itu, uji inferensial dan pemeriksaan ulang perhitungan N-gain tidak dilakukan dalam artikel ini.

Hasil dan Pembahasan

Kondisi awal memperlihatkan dua kebutuhan yang saling terkait. Pertama, guru memerlukan dukungan untuk memilih, membuat, dan menggunakan media digital yang sesuai dengan pembelajaran geometri. Kedua, sekolah memerlukan alat visual yang dapat digunakan bersama dan direplikasi dengan biaya yang lebih terjangkau. Keterkaitan ini penting: penyediaan perangkat tanpa pendampingan pedagogis berisiko menjadikan teknologi hanya sebagai pajangan, sedangkan pelatihan guru tanpa kesempatan praktik dan perangkat yang tersedia membatasi penerapan di kelas. Pengembangan TPACK dan kompetensi digital guru perlu terhubung dengan mata pelajaran, tugas mengajar, dan penggunaan perangkat secara nyata (Chang et al., 2025; Li et al., 2025; Seifert & Lindmeier, 2024; Yildiz & Arpaci, 2024). Karena itu, program menggabungkan penguatan kapasitas dengan produksi media.

Rancangan tersebut sejalan dengan pemikiran bahwa pemanfaatan teknologi pembelajaran perlu menghubungkan pengetahuan teknologi, pedagogi, dan konten (Mishra & Koehler, 2006; Li, Vale, Tan, & Blannin, 2025; Yildiz & Arpaci, 2024). Rancangan ini juga menjawab kebutuhan geometri ruang yang menuntut siswa bekerja dengan representasi dan sifat matematis secara terpadu (Burte et al., 2017; Fujita et al., 2020; Harris et al., 2023; Ishikawa & Newcombe, 2021). Kajian hologram di kelas menunjukkan potensi media untuk meningkatkan perhatian dan minat, sementara telaah kuantitatif yang lebih luas menunjukkan hasil yang menjanjikan tetapi tetap

bergantung pada konteks implementasi (Awi et al., 2023; Fokides & Bampoukli, 2024; Hoon & Shaharuddin, 2019; Kaharuddin et al., 2023; Prado Ortega et al., 2020; Yu et al., 2024). Kajian integrasi teknologi matematika juga menekankan bahwa pemilihan teknologi perlu disertai kompetensi digital dan pengetahuan pedagogis yang sesuai dengan materi (Chang et al., 2025; Seifert & Lindmeier, 2024). Dengan demikian, kontribusi program ini terletak pada penggabungan media, keterampilan produksi, dan praktik guru dalam konteks sekolah dengan sumber daya terbatas.

Pelaksanaan partisipatif dan produk yang dihasilkan

Keterlibatan aktif guru berlangsung pada beberapa bentuk kegiatan. Pada awal program, guru membantu mengidentifikasi kebutuhan media dan kondisi sarana sekolah. Dalam lokakarya, guru mempraktikkan pembuatan piramida transparan, perakitan frame, pengoperasian aplikasi, serta pengembangan konten geometri. Pada tahap penerapan, guru mencoba unit master dan unit low-cost dalam kegiatan geometri serta mengikuti team teaching dan pendampingan teknis. Pola belajar sambil membuat memberi guru pengalaman langsung mengenai fungsi dan keterbatasan alat serta membuka peluang untuk memperbaiki atau mereplikasi unit. Pembelajaran profesional yang melibatkan praktik, kolaborasi, dan tindak lanjut dapat mendukung perpindahan keterampilan ke konteks kerja guru, meskipun keberlanjutan tetap bergantung pada dukungan lokal (Diamah et al., 2022; Harjanto et al., 2018; Sims & Fletcher-Wood, 2021). Dari rangkaian kegiatan tersebut tersedia satu unit master, delapan unit low-cost, dan delapan konten geometri digital. Dokumentasi keterlibatan masih berada pada tingkat kelompok; artikel ini tidak mengklaim bahwa setiap guru menghasilkan satu unit atau satu konten secara mandiri.



Gambar 2. Delapan unit Hologram 3D berbiaya rendah hasil kegiatan.

Ketersediaan media meningkat dari baseline nol menjadi sembilan unit, yang terdiri atas satu unit master dan delapan unit low-cost. Delapan unit low-cost tersebut mencapai 53,3% dari target 15 unit. Produk digital bertambah dari belum tersedia menjadi delapan konten geometri, atau 80,0% dari target 10 konten. Dengan demikian, keluaran fisik dan digital bertambah nyata, tetapi target produk belum terpenuhi sepenuhnya. Delapan unit dan delapan konten yang telah tersedia dapat digunakan untuk praktik dan pembelajaran kelompok, sedangkan kekurangan tujuh unit low-cost dan dua konten ditempatkan sebagai pekerjaan tindak lanjut. Keberlanjutan perlu didukung dokumentasi biaya per unit, inventarisasi, prosedur perawatan, pembagian tanggung jawab pengelolaan, serta jadwal penyelesaian sisa produk. Pengembangan komunitas belajar guru dan dukungan kelembagaan dapat membantu menjaga penggunaan serta pengembangan teknologi setelah pelatihan selesai (Harjanto et al., 2018; Sims & Fletcher-Wood, 2021).

Perubahan skor guru dan siswa

Rerata kompetensi 15 guru meningkat dari 46,5 menjadi 84,9 dari 100, atau bertambah 38,4 poin. Seluruh guru memperoleh skor pascates pada rentang 81–89 dan melampaui indikator rerata program sebesar 80. N-gain hasil evaluasi tercatat sebesar 0,72. Perubahan ini muncul setelah rangkaian sosialisasi, lokakarya produksi dan pedagogi, pengembangan konten, demonstrasi, serta

pendampingan. Karena setiap komponen dilaksanakan sebagai satu paket dan tidak ada kelompok pembanding, data tidak dapat menunjukkan komponen mana yang paling berkontribusi atau apakah perubahan sepenuhnya disebabkan program.

Pada kelompok siswa, rerata literasi spasial dari 60 siswa meningkat dari 53,9 menjadi 77,9, dengan nilai gain ternormalisasi 0,52. Sebanyak 57 siswa atau 95% mencapai skor pascates minimal 70. Capaian ini selaras dengan tujuan penggunaan visualisasi tiga dimensi untuk mendukung pengamatan kubus dan balok. Namun, data tes yang tersedia hanya berupa ringkasan agregat; tanpa data item dan instrumen tes yang disertakan, interpretasi perlu dibatasi pada skor literasi spasial menurut pengukuran program, bukan klaim peningkatan kemampuan umum atau retensi jangka panjang. Studi augmented reality dalam matematika juga menunjukkan bahwa dampak media visual tiga dimensi berkaitan dengan struktur tugas dan kemampuan spasial peserta; hasil tersebut menjadi konteks pembanding, bukan bukti langsung tentang hologram pada program ini (Koparan, Dinar, Koparan, & Haldan, 2023; Krüger, Palzer, & Bodemer, 2022).

Tabel 1. Ringkasan kondisi awal dan hasil kegiatan

Indikator	Kondisi awal	Target program	Realisasi dan status
Kompetensi guru (n=15)	46,5/100	Rerata ≥80	84,9/100; N-gain 0,72; target tercapai
Literasi spasial siswa (n=60)	53,9/100	Skor ketuntasan individual ≥70	77,9/100; N-gain 0,52; 57/60 siswa mencapai ≥70
Unit master	0 unit	1 unit untuk penggunaan bersama	1 unit tersedia; target tercapai
Unit low-cost	0 unit	Sedikitnya 15 unit	8 unit (53,3%); belum tercapai
Konten digital geometri	Belum tersedia	Sedikitnya 10 konten	8 konten (80,0%); belum tercapai

Penerapan di kelas dan pembelajaran program

Dokumentasi program menunjukkan kegiatan pengenalan media dan implementasi di lingkungan sekolah. Aplikasi menyediakan mode guru dan peserta didik, pilihan materi kubus dan balok, animasi, audio, tombol pengulangan, serta menu kesimpulan. Fitur tersebut dapat mendukung urutan pembelajaran dari pengamatan objek menuju pembahasan sifat, apabila guru mengaitkannya secara eksplisit dengan pertanyaan dan tugas matematika. Media visual sebaiknya menjadi bagian dari aktivitas bernalar, misalnya meminta siswa mengidentifikasi sisi, rusuk, diagonal, atau menjelaskan perubahan tampilan dari sudut pandang berbeda bukan menggantikan penjelasan dan representasi matematis.



Gambar 3. Keterlibatan guru dalam sesi pengenalan, praktik pengoperasian, dan penerapan media di sekolah mitra.

Salah satu pembelajaran dari pelaksanaan ini ialah perlunya kesinambungan antara produksi teknologi dan desain aktivitas belajar. Media dapat membantu siswa melihat bentuk ruang, tetapi pemahaman sifat geometri tetap memerlukan pengarahan guru dan kesempatan siswa menjelaskan alasan. Temuan penelitian geometri menunjukkan bahwa penalaran visual dan pengetahuan tentang sifat objek perlu digunakan bersama, terutama ketika siswa menyelesaikan masalah yang melibatkan bentuk tiga dimensi (Fujita et al., 2020). Oleh karena itu, pelatihan lanjutan perlu memasukkan rancangan tugas yang menghubungkan pengamatan hologram, gambar dua dimensi, model konkret, dan bahasa matematis.

Keberlanjutan, keterbatasan, dan implikasi

Program menargetkan sedikitnya 15 unit low-cost dan 10 konten geometri digital. Sampai akhir kegiatan yang dilaporkan, baru tersedia delapan unit low-cost dan delapan konten, sehingga realisasinya masing-masing 53,3% dan 80,0%. Capaian tersebut harus dibaca sebagai pemenuhan sebagian target, bukan penyelesaian seluruh luaran. Satu unit master telah tersedia sebagai perangkat penggunaan bersama. Langkah keberlanjutan yang direncanakan mencakup penyelesaian tujuh unit low-cost dan dua konten yang masih kurang, inventarisasi aset, serah terima kepada mitra, penyempurnaan konten, serta dokumentasi luaran. Agar kemampuan bertahan setelah program berakhir, sekolah perlu menetapkan guru penanggung jawab, jadwal pemanfaatan, prosedur penyimpanan dan perawatan, serta mekanisme berbagi keterampilan dengan guru lain.

Interpretasi hasil memiliki beberapa batas. Data berasal dari satu sekolah dan tidak mencakup kelompok pembanding atau pengukuran tindak lanjut. Nilai awal dan akhir tersedia sebagai ringkasan kelompok, bukan data individual atau hasil uji inferensial yang dapat diaudit. Karena itu, perubahan skor tidak dapat diatribusikan secara kausal hanya pada penggunaan hologram. Sebelum pengiriman, angka agregat, N-gain, dan identitas instrumen perlu dicocokkan kembali dengan lembar skor asli. Evaluasi selanjutnya sebaiknya melaporkan prosedur tes, data sebelum-sesudah yang dianonimkan, penilaian praktik guru, persepsi mitra, dan pengukuran tindak lanjut.

Kesimpulan dan Saran

Program pemberdayaan guru di SMP Negeri 2 Besulutu menggabungkan penguatan kompetensi pembelajaran dengan fabrikasi dan penerapan media Hologram 3D. Guru terlibat dalam identifikasi kebutuhan, praktik pembuatan dan perakitan, pengembangan konten, pengoperasian media, serta penerapan di kelas. Kegiatan menghasilkan satu unit master, delapan unit low-cost, dan delapan konten digital. Dibandingkan dengan target 15 unit low-cost dan 10 konten, capaian produk masing-masing sebesar 53,3% dan 80,0%, sehingga target luaran produk baru terpenuhi sebagian. Rerata kompetensi guru meningkat dari 46,5 menjadi 84,9, sedangkan rerata literasi spasial siswa meningkat dari 53,9 menjadi 77,9. Sebanyak 57 dari 60 siswa mencapai skor minimal 70. Hasil ini merupakan capaian deskriptif dan belum membuktikan hubungan sebab-akibat. Tindak lanjut diprioritaskan pada penyelesaian tujuh unit low-cost dan dua konten digital yang masih kurang, penyusunan dokumen serah terima dan pemeliharaan aset, serta perluasan pendampingan dalam perancangan tugas geometri. Evaluasi berikutnya perlu merekam kontribusi dan keterampilan praktik setiap guru, menggunakan data yang dapat ditelusuri, menjelaskan instrumen dan prosedur analisis, serta menilai penggunaan media dan keberlanjutan praktik setelah pendampingan berakhir.

Ucapan Terima Kasih

Tim menyampaikan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi melalui program Pemberdayaan Kemitraan Masyarakat tahun 2026, Universitas Lakidende, Universitas Muhammadiyah Kendari, kepala sekolah, para guru, siswa, dan keluarga besar SMP Negeri 2 Besulutu atas dukungan dan partisipasi dalam pelaksanaan kegiatan.

Referensi

Awi, A., Minggi, I., & Ermayanti. (2023). Efektivitas penggunaan media pembelajaran hologram video pada materi geometri bangun ruang sisi datar di SMP Negeri 2 Alla. *Issues in Mathematics Education*, *7*(2), 108–119. https://doi.org/10.35580/imed.v7i2.7502

Burte, H., Gardony, A. L., Hutton, A., & Taylor, H. A. (2017). Think3D!: Improving mathematics learning through embodied spatial training. *Cognitive Research: Principles and Implications*, *2*, Article 13. https://doi.org/10.1186/s41235-017-0052-9

Chang, C.-F., Annisa, N., & Chen, K.-Z. (2025). Pre-service teacher professional education program (PPG) and Indonesian science teachers' TPACK development: A career-path comparative study. *Education and Information Technologies*, *30*, 8689–8711. https://doi.org/10.1007/s10639-024-13160-6

Diamah, A., Rahmawati, Y., Paristiowati, M., Fitriani, E., Irwanto, I., Dobson, S., & Sevilla, D. (2022). Evaluating the effectiveness of technological pedagogical content knowledge-based training program in enhancing pre-service teachers' perceptions of technological pedagogical content knowledge. *Frontiers in Education*, *7*, Article 897447. https://doi.org/10.3389/feduc.2022.897447

Fabian, A., Backfisch, I., Kirchner, K., & Lachner, A. (2024). A systematic review and meta-analysis on TPACK-based interventions from a perspective of knowledge integration. *Computers and Education Open*, *7*, Article 100200. https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100200

Fokides, E., & Bampoukli, I.-A. (2024). Are hologram-like pyramid projections of an educational value? Results of a project in primary school settings. *Journal of Computers in Education*, *11*(1), 215–235. https://doi.org/10.1007/s40692-022-00255-7

Fujita, T., Kondo, Y., Kumakura, H., Kunimune, S., & Jones, K. (2020). Spatial reasoning skills about 2D representations of 3D geometrical shapes in grades 4 to 9. *Mathematics Education Research Journal*, *32*(2), 235–255. https://doi.org/10.1007/s13394-020-00335-w

Harjanto, I., Lie, A., Wihardini, D., Pryor, L., & Wilson, M. (2018). Community-based teacher professional development in remote areas in Indonesia. *Journal of Education for Teaching*, *44*(2), 212–231. https://doi.org/10.1080/02607476.2017.1415515

Harris, D., Logan, T., & Lowrie, T. (2023). Spatial visualization and measurement of area: A case study in spatialized mathematics instruction. *The Journal of Mathematical Behavior*, *70*, Article 101038. https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2023.101038

Hoon, L. N., & Shaharuddin, S. S. (2019). Learning effectiveness of 3D hologram animation on primary school learners. *Journal of Visual Art and Design*, *11*(2), 93–104. https://doi.org/10.5614/j.vad.2019.11.2.2

Ishikawa, T., & Newcombe, N. S. (2021). Why spatial is special in education, learning, and everyday activities. *Cognitive Research: Principles and Implications*, *6*, Article 20. https://doi.org/10.1186/s41235-021-00274-5

Kaharuddin, A., Arsyad, N., & Asdar. (2023). The influence of using 3D holographic media on student engagement in learning geometry. *International Journal of Scientific Research and Management*, *11*(12), 3117–3119. https://doi.org/10.18535/ijsrm/v11i12.el03

Kaharuddin, A., García García, J., Magfirah, I., & Yulismayanti, Y. (2025). Validating a TPCK-S instrument for hologram-based mathematics teaching. *Indonesian Journal on Learning and Advanced Education*, *7*(3), 525–536. https://doi.org/10.23917/ijolae.v7i3.12119

Kaharuddin, A., Salmawati, S., Syam, N., Sukmawati, S., & Umar, U. (2025). Pemberdayaan guru: Pelatihan hologram 3D tingkatkan self-efficacy sebagai fondasi TPCK-S. *Madaniya*, *6*(4), 2472–2480. https://madaniya.biz.id/journals/contents/article/view/1492

Koparan, T., Dinar, H., Koparan, E. T., & Haldan, Z. S. (2023). Integrating augmented reality into mathematics teaching and learning and examining its effectiveness. *Thinking Skills and Creativity*, *47*, Article 101245. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101245

Krüger, J. M., Palzer, K., & Bodemer, D. (2022). Learning with augmented reality: Impact of dimensionality and spatial abilities. *Computers and Education Open*, *3*, Article 100065. https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100065

Li, M., Vale, C., Tan, H., & Blannin, J. (2025). A systematic review of TPACK research in primary mathematics education. *Mathematics Education Research Journal*, *37*(2), 281–311. https://doi.org/10.1007/s13394-024-00491-3

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

Prado Ortega, M. X., Delgado Ramírez, J. C., Valarezo Castro, J. W., Armijos Carrión, J. L., Ávila Carvajal, A. A., & González Segarra, A. N. (2020). Application of the technical-pedagogical resource 3D holographic LED-fan display in the classroom. *Smart Learning Environments*, *7*, Article 32. https://doi.org/10.1186/s40561-020-00136-5

Seifert, H., & Lindmeier, A. (2024). Developing a performance-based assessment to measure pre-service secondary teachers' digital competence to use digital mathematics tools. *Journal für Mathematik-Didaktik*, *45*, Article 25. https://doi.org/10.1007/s13138-024-00251-7

Sims, S., & Fletcher-Wood, H. (2021). Identifying the characteristics of effective teacher professional development: A critical review. *School Effectiveness and School Improvement*, *32*(1), 47–63. https://doi.org/10.1080/09243453.2020.1772841

Yildiz, E., & Arpaci, I. (2024). Understanding pre-service mathematics teachers' intentions to use GeoGebra: The role of technological pedagogical content knowledge. *Education and Information Technologies*, *29*, 18817–18838. https://doi.org/10.1007/s10639-024-12614-1

Yu, Q., Li, B.-M., & Wang, Q.-Y. (2024). The effectiveness of 3D holographic technology on students' learning performance: A meta-analysis. *Interactive Learning Environments*, *32*(5), 1629–1641. https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2124424