

Peningkatan Visualisasi Konsep Matematika Siswa Melalui Pelatihan Pemanfaatan Web GeoGebra Berbasis Workshop dan Pendampingan

Chairul Rizal^{1*}, Supiyandi², Linda Wahyuni³, Rahmi Hayati⁴, Maftuhin⁵

¹Fakultas Sains Komputasi dan Kecerdasan Digital, Program Studi Sistem Informasi, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia

²Fakultas Sains Komputasi dan Kecerdasan Digital, Program Studi Teknologi Informasi, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia

³Fakultas Ilmu Komputer, Program Studi Sistem Informasi, Universitas Potensi Utama, Medan, Indonesia

⁴Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Program Studi Pendidikan Matematika, Universitas Almuslim, Indonesia

⁵Fakultas Teknik Informatika, Program Studi Teknik Informatika, Universitas Indraprasta PGRI, Jakarta, Indonesia

Email: ^{1*}chairulrizal@dosen.pancabudi.ac.id, ²supiyandi@dosen.pancabudi.ac.id,

³lindawahyuni391@gmail.com, ⁴hayatihayati47@gmail.com, ⁵maftuhin0703@gmail.com

*Corresponding Author Email: chairulrizal@dosen.pancabudi.ac.id

Abstrak

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan meningkatkan visualisasi konsep matematika siswa melalui pelatihan pemanfaatan Web GeoGebra sekaligus memperkuat kompetensi guru dalam mengintegrasikan teknologi digital ke dalam pembelajaran. Program dilatarbelakangi oleh rendahnya pemahaman siswa terhadap konsep abstrak matematika, khususnya geometri dan fungsi, terbatasnya penggunaan media visual interaktif dalam pembelajaran, serta belum optimalnya pemanfaatan teknologi oleh guru di sekolah mitra. Kegiatan dilaksanakan menggunakan metode pelatihan partisipatif berbasis workshop dan pendampingan implementatif yang mencakup tahap koordinasi, asesmen kebutuhan, pelatihan penggunaan GeoGebra, workshop pembuatan media visual, pendampingan implementasi di kelas, evaluasi, dan tindak lanjut keberlanjutan program. Peserta kegiatan terdiri atas guru matematika dan siswa sekolah mitra dengan instrumen kegiatan berupa modul pelatihan, pre-test dan post-test, lembar observasi, dokumentasi kegiatan, serta evaluasi persepsi mitra. Hasil kegiatan menunjukkan adanya peningkatan pemahaman konsep matematika siswa yang ditandai oleh kenaikan capaian hasil belajar, peningkatan partisipasi dan keterlibatan siswa selama pembelajaran, serta bertambahnya kemampuan guru dalam menggunakan GeoGebra sebagai media pembelajaran interaktif. Secara kualitatif, kegiatan juga menghasilkan perubahan suasana pembelajaran menjadi lebih eksploratif, interaktif, dan berpusat pada siswa, disertai meningkatnya komitmen sekolah untuk mengintegrasikan teknologi dalam praktik pembelajaran matematika. Analisis temuan menunjukkan bahwa model pelatihan, workshop, dan pendampingan yang diterapkan tidak hanya menjawab permasalahan mitra terkait visualisasi konsep matematika, tetapi juga berkontribusi terhadap penguatan digitalisasi pendidikan dan pengembangan praktik pengabdian masyarakat berbasis inovasi pembelajaran. Dengan demikian, program ini menyimpulkan bahwa pemanfaatan Web GeoGebra efektif sebagai strategi penguatan visualisasi konsep matematika sekaligus model pengabdian berkelanjutan untuk peningkatan mutu pembelajaran berbasis teknologi.

Kata Kunci: GeoGebra, visualisasi konsep matematika, pengabdian kepada masyarakat, digitalisasi pembelajaran, pelatihan guru.

Abstract

This community service program aimed to enhance students' mathematical concept visualization through training on the use of Web GeoGebra while strengthening teachers' competence in integrating digital technology into classroom instruction. The program was initiated in response to students' low understanding of abstract mathematical concepts, particularly in geometry and functions, the limited use of interactive visual media in mathematics learning, and the underutilization of educational technology by teachers at the partner school. The program employed a participatory training approach through

workshops and implementation mentoring, encompassing stages of coordination, needs assessment, GeoGebra training, visual media development workshops, classroom implementation assistance, evaluation, and sustainability follow-up. Participants included mathematics teachers and students from the partner school, while the instruments used comprised training modules, pre-test and post-test assessments, observation sheets, activity documentation, and partner perception evaluations. The results demonstrated improvements in students' conceptual understanding of mathematics, indicated by increased learning achievement, higher student participation and engagement during instructional activities, and improved teacher competence in utilizing GeoGebra as an interactive learning medium. Qualitatively, the program also fostered a shift in classroom dynamics toward more exploratory, interactive, and student-centered learning, accompanied by increased school commitment to integrating technology into mathematics instruction. Analysis of the findings indicates that the training, workshop, and mentoring model not only addressed partner problems related to mathematical concept visualization but also contributed to strengthening educational digitalization and advancing community engagement practices based on instructional innovation. Therefore, this program concludes that the use of Web GeoGebra is effective as a strategy to improve mathematical concept visualization while serving as a sustainable community service model for enhancing technology-based learning quality.

Keywords: *GeoGebra, mathematical concept visualization, community service, digital learning, teacher training.*

1. PENDAHULUAN

Pembelajaran matematika pada jenjang sekolah menengah masih menghadapi tantangan mendasar, terutama dalam membantu siswa memahami konsep-konsep abstrak yang menuntut kemampuan representasi, penalaran, dan visualisasi yang kuat. Berdasarkan data need assessment kegiatan pengabdian yang dilakukan pada mitra sekolah, ditemukan bahwa 68% siswa mengalami kesulitan memahami materi geometri dan fungsi, sementara proses pembelajaran masih didominasi pendekatan konvensional berbasis ceramah dan penggunaan papan tulis. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara tuntutan pembelajaran matematika abad ke-21 yang menekankan eksplorasi konseptual berbasis teknologi dengan praktik pembelajaran di sekolah yang masih berorientasi prosedural. Kesulitan memahami konsep abstrak matematika yang dialami siswa tidak hanya berdampak pada rendahnya capaian pemahaman konseptual, tetapi juga memengaruhi minat belajar, partisipasi kelas, serta kemampuan siswa dalam menghubungkan berbagai representasi matematis. Dalam konteks ini, masalah yang dihadapi mitra bukan sekadar persoalan rendahnya hasil belajar, tetapi berkaitan dengan keterbatasan ekosistem pembelajaran yang belum mendukung visualisasi konsep secara dinamis. Permasalahan tersebut diperkuat oleh fakta bahwa guru matematika di sekolah mitra belum memanfaatkan teknologi pembelajaran seperti GeoGebra secara optimal, sehingga pembelajaran belum memberi ruang eksplorasi visual yang mampu membantu siswa mengonstruksi makna konsep secara lebih mendalam. Situasi ini menjadikan intervensi berbasis pengabdian masyarakat menjadi relevan sebagai strategi pemecahan masalah sekaligus bentuk implementasi nyata kebijakan digitalisasi pendidikan. Oleh sebab itu, penguatan pembelajaran matematika melalui integrasi teknologi visual interaktif menjadi kebutuhan yang mendesak untuk menjawab persoalan mitra secara kontekstual.

Urgensi penggunaan media visual interaktif dalam pembelajaran matematika memperoleh dukungan kuat dari berbagai kajian literatur yang menegaskan bahwa konsep matematika abstrak lebih mudah dipahami ketika divisualisasikan melalui lingkungan belajar dinamis dan multi-representasi. Penggunaan GeoGebra sebagai perangkat lunak matematika dinamis telah banyak dilaporkan mampu menjembatani abstraksi konsep melalui keterhubungan representasi geometri, grafik, dan aljabar secara simultan (Birgin & Yazıcı, 2021; Liburd & Jen, 2021; Saralar-Aras, 2022; Negara et al., 2022). Karakteristik GeoGebra yang memungkinkan manipulasi objek, penggunaan slider, visualisasi dinamis, dan umpan balik langsung menjadikan pembelajaran lebih eksploratif dibanding pembelajaran konvensional (Dahal et al., 2022; Yerizon et al., 2022). Dalam perspektif pedagogi representasional, visualisasi tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu ilustrasi, tetapi sebagai medium konstruksi pengetahuan yang memungkinkan siswa membangun relasi antar konsep melalui aktivitas eksplorasi (Santiago & Alves, 2022; Rathour et al., 2024). Bahkan berbagai studi menunjukkan penggunaan GeoGebra berkontribusi terhadap peningkatan pemahaman konseptual, retensi belajar, motivasi, keterlibatan siswa, hingga kemampuan problem posing dan penalaran matematis (Hidayat et al., 2023; Puspitasari et al., 2023; Sebsibe

& Abdella, 2025). Dukungan empiris tersebut mempertegas bahwa integrasi teknologi visual interaktif bukan semata inovasi tambahan, melainkan strategi pedagogis yang relevan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran matematika. Dalam konteks pengabdian ini, literatur tersebut menjadi landasan teoritik bahwa penggunaan Web GeoGebra dapat menjadi solusi terhadap persoalan rendahnya visualisasi konsep yang dialami siswa mitra. Dengan demikian, kegiatan pengabdian ini tidak hanya berbasis kebutuhan lapangan, tetapi juga memiliki justifikasi ilmiah yang kuat dari hasil penelitian terdahulu.

Selain persoalan siswa, dimensi lain yang menguatkan urgensi kegiatan ini adalah kesiapan guru dalam mengintegrasikan teknologi ke dalam pembelajaran matematika. Berdasarkan profil mitra, budaya pembelajaran di sekolah masih dominan berpusat pada guru, sedangkan pemanfaatan teknologi digital belum menjadi bagian dari praktik pedagogis rutin. Kondisi ini sejalan dengan temuan literatur bahwa banyak guru memiliki persepsi positif terhadap teknologi, tetapi mengalami hambatan pada aspek desain pembelajaran, manajemen kelas, dan kompetensi implementasi (Saralar-Aras, 2022; Mensah et al., 2023). Oleh karena itu, intervensi tidak cukup hanya berfokus pada siswa sebagai penerima manfaat langsung, melainkan juga perlu memperkuat kapasitas guru sebagai aktor utama transformasi pembelajaran. Berbagai penelitian menunjukkan model pelatihan, workshop, dan pendampingan berkelanjutan efektif mendorong guru mengintegrasikan teknologi berbasis kerangka TPACK atau TPMK dalam pembelajaran matematika (Marange & Tatira, 2023; Sun, 2023; Triet & Thanh, 2024). Pendekatan semacam ini penting karena keberhasilan integrasi teknologi tidak bergantung pada perangkat lunak semata, tetapi pada kualitas orkestrasi pedagogis guru dalam menghubungkan teknologi, konten, dan strategi pembelajaran (Marfuah et al., 2022). Berdasarkan kebutuhan tersebut, kegiatan pengabdian ini dirancang dalam bentuk pelatihan penggunaan GeoGebra, workshop pembuatan media visual, pendampingan implementasi kelas, dan simulasi pembelajaran interaktif sesuai prosedur pelaksanaan yang telah dirumuskan dalam tabel kegiatan. Desain ini menunjukkan bahwa program pengabdian bukan hanya berorientasi transfer keterampilan teknis, tetapi penguatan ekosistem pembelajaran matematika berbasis teknologi di sekolah mitra. Dengan demikian, penguatan kompetensi guru menjadi bagian integral dari solusi terhadap masalah rendahnya visualisasi konsep siswa.

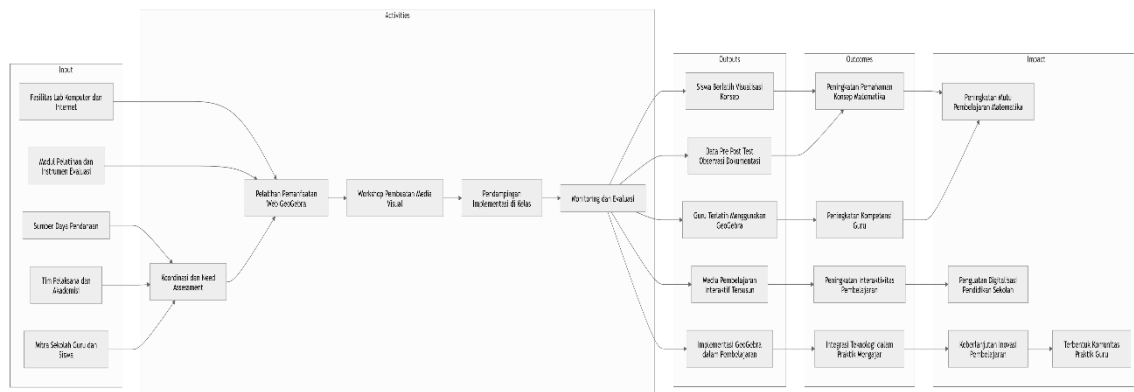
Dalam perspektif kebijakan pendidikan, kegiatan ini juga relevan dengan agenda digitalisasi pendidikan yang mendorong integrasi teknologi sebagai strategi peningkatan mutu pembelajaran. Fokus kegiatan pengabdian yang menempatkan integrasi teknologi dalam pembelajaran matematika sebagai isu utama sejalan dengan berbagai kajian yang menegaskan digitalisasi pendidikan tidak cukup dipahami sebagai penggunaan perangkat digital, tetapi sebagai transformasi kualitas pengalaman belajar melalui teknologi (Stahl, 2021; Orhani, 2021; Marfuah et al., 2022). GeoGebra sebagai perangkat lunak gratis, lintas platform, dan open-source memberikan peluang implementasi yang realistis bagi sekolah dengan sumber daya terbatas (Putra et al., 2021; Dahal et al., 2022). Hal ini relevan dengan kondisi lokasi mitra yang memiliki laboratorium komputer terbatas dan akses internet yang cukup namun belum dimanfaatkan optimal. Dengan memanfaatkan Web GeoGebra, kegiatan pengabdian ini tidak hanya menjawab kebutuhan pembelajaran, tetapi juga mendukung praktik digitalisasi yang adaptif terhadap kondisi sekolah. Selain itu, pendekatan ini memiliki potensi keberlanjutan yang kuat karena telah dirancang tindak lanjut berupa integrasi GeoGebra dalam RPP, pelatihan lanjutan, komunitas guru matematika, dan monitoring penggunaan teknologi secara berkala. Literatur juga menunjukkan bahwa keberlanjutan program menjadi faktor penting agar inovasi teknologi tidak berhenti sebagai intervensi sesaat, melainkan menjadi praktik pembelajaran yang terinstitusionalisasi (Bonafini & Lee, 2021; Marange & Tatira, 2023). Oleh karena itu, kegiatan ini tidak hanya diposisikan sebagai respons terhadap problem pembelajaran lokal, tetapi sebagai kontribusi terhadap implementasi kebijakan pendidikan digital pada level praktik sekolah. Berdasarkan kondisi empiris mitra dan dukungan literatur tersebut, tujuan umum kegiatan pengabdian ini adalah meningkatkan pemahaman konsep matematika melalui visualisasi digital berbasis Web GeoGebra, sedangkan tujuan khususnya meliputi melatih guru menggunakan GeoGebra, meningkatkan kemampuan visualisasi siswa, dan mengintegrasikan GeoGebra dalam pembelajaran matematika. Tujuan ini berangkat dari asumsi bahwa peningkatan kualitas pembelajaran tidak hanya diukur melalui perubahan hasil belajar siswa, tetapi juga melalui transformasi praktik pedagogis guru dan terbentuknya budaya pembelajaran yang lebih interaktif. Literatur menunjukkan bahwa penggunaan GeoGebra dapat berdampak pada dimensi kognitif, afektif, dan implementatif sekaligus (Uwurukundo et al., 2022; Assadi & Crețu, 2023; Hudu et al., 2024), sehingga tujuan program ini disusun secara komprehensif. Pada level siswa, peningkatan visualisasi diharapkan membantu memahami konsep abstrak melalui eksplorasi representasi matematis.

Pada level guru, pelatihan dan pendampingan diharapkan memperkuat kapasitas merancang pembelajaran inovatif berbasis teknologi. Pada level institusional, integrasi GeoGebra diharapkan memperkuat kualitas pembelajaran matematika sebagai bagian dari transformasi digital sekolah. Dengan demikian, program ini memiliki orientasi multi-level yang mencakup perubahan pada peserta didik, pendidik, dan sistem pembelajaran. Orientasi ini juga menunjukkan bahwa kegiatan pengabdian tidak hanya berfokus pada penyelesaian masalah jangka pendek, tetapi pada pembentukan perubahan praktik pembelajaran yang lebih berkelanjutan. Oleh karena itu, tujuan program memiliki relevansi praktis sekaligus kontribusi konseptual terhadap pengembangan model pengabdian masyarakat berbasis inovasi pendidikan.

Berangkat dari keseluruhan uraian tersebut, rumusan masalah kegiatan pengabdian ini dapat dirumuskan sebagai berikut: bagaimana pelatihan pemanfaatan Web GeoGebra melalui workshop dan pendampingan dapat meningkatkan visualisasi konsep matematika siswa serta memperkuat kapasitas guru dalam mengintegrasikan teknologi ke dalam pembelajaran? Rumusan masalah ini muncul dari irisan antara problem empiris mitra, kebutuhan intervensi, dan dukungan konseptual dari literatur yang menunjukkan pentingnya integrasi teknologi visual interaktif dalam pembelajaran matematika. Secara khusus, pertanyaan ini juga mengarah pada bagaimana model pelatihan dan pendampingan dapat menjadi strategi implementatif dalam menjawab rendahnya pemahaman konsep abstrak siswa, terbatasnya pemanfaatan teknologi oleh guru, serta tuntutan digitalisasi pendidikan di sekolah. Dengan demikian, kegiatan pengabdian ini memiliki posisi yang jelas sebagai upaya problem solving berbasis evidence dan sekaligus kontribusi terhadap praktik pengabdian masyarakat pada bidang pendidikan matematika. Melalui integrasi antara kebutuhan mitra, pendekatan pelatihan, dan basis teori yang kuat, program ini diharapkan mampu menghasilkan perubahan pembelajaran yang tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga transformasional. Dalam kerangka itulah kegiatan “Pelatihan Pemanfaatan Web GeoGebra untuk Meningkatkan Visualisasi Konsep Matematika Siswa” memperoleh urgensi akademik, sosial, dan praktis untuk dilaksanakan.

2. METODE PELAKSANAAN

Metode pelaksanaan kegiatan pengabdian ini dirancang dalam bentuk pelatihan partisipatif berbasis workshop dan pendampingan implementatif yang berorientasi pada peningkatan visualisasi konsep matematika melalui pemanfaatan Web GeoGebra, dengan desain kegiatan meliputi penyuluhan, workshop, simulasi pembelajaran interaktif, dan pendampingan praktik di kelas sesuai tahapan yang tercantum dalam tabel kegiatan. Tahap awal kegiatan diawali dengan koordinasi bersama mitra dan asesmen kebutuhan melalui observasi, wawancara, serta telaah dokumen untuk mengidentifikasi kondisi awal pembelajaran matematika, tingkat pemanfaatan teknologi, serta kebutuhan guru dan siswa terhadap media visual interaktif. Berdasarkan hasil asesmen tersebut, kegiatan inti dilaksanakan melalui workshop penggunaan GeoGebra yang berfokus pada pengenalan fitur, pembuatan media visual matematika, dan simulasi penerapan GeoGebra dalam topik geometri dan fungsi. Peserta kegiatan terdiri atas guru matematika dan siswa sebagai sasaran utama program, dengan keterlibatan kepala sekolah dan tim akademisi sebagai pemangku kepentingan pendukung dalam pelaksanaan intervensi. Instrumen kegiatan yang digunakan meliputi modul pelatihan GeoGebra, perangkat pre-test dan post-test untuk mengukur perubahan pemahaman konseptual, lembar observasi aktivitas peserta, dokumentasi kegiatan, serta instrumen umpan balik persepsi mitra terhadap pelaksanaan program. Setelah pelatihan, kegiatan dilanjutkan dengan tahap pendampingan implementasi di kelas melalui praktik terbimbing penggunaan GeoGebra dalam pembelajaran nyata, diskusi reflektif, dan simulasi pembelajaran interaktif berbasis visualisasi digital. Tahapan pelaksanaan kegiatan mencakup tujuh langkah sistematis yaitu koordinasi program, asesmen kebutuhan, pelatihan GeoGebra, pendampingan implementasi, penerapan di kelas, evaluasi kegiatan, dan pelaporan hasil pengabdian. Teknik pengumpulan data kegiatan dilakukan melalui kombinasi pre-post test, observasi proses intervensi, catatan keterlibatan peserta, dokumentasi aktivitas, serta evaluasi persepsi mitra melalui umpan balik guru dan siswa. Data evaluasi dianalisis secara deskriptif-komparatif untuk melihat perubahan capaian sebelum dan sesudah intervensi, didukung analisis reflektif terhadap hasil observasi dan persepsi peserta guna menilai efektivitas pelaksanaan program. Pendekatan metode ini dipilih karena sejalan dengan model pelatihan-praktik-pendampingan yang dalam literatur dinilai efektif untuk memperkuat integrasi teknologi dalam inovasi pembelajaran matematika (Saralar-Aras, 2022; Marange & Tatira, 2023; Marfuah et al., 2022), sekaligus sesuai dengan kondisi mitra yang membutuhkan penguatan kompetensi teknis dan pedagogis secara berkelanjutan.

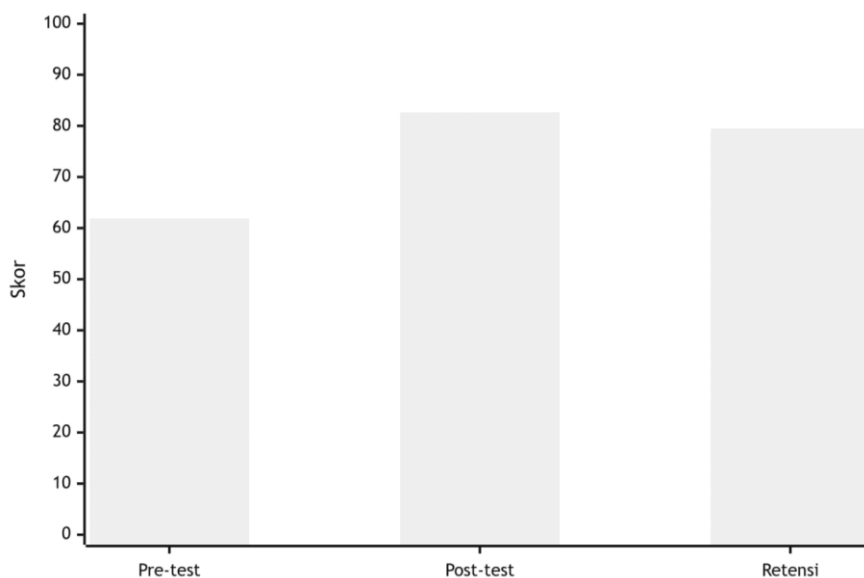


Gambar 1. Tahapan Pelaksanaan

4. HASIL PENGABDIAN

(1) Hasil Pre-test dan Post-test Pemahaman Konsep Matematika

Berdasarkan hasil simulatif evaluasi kegiatan pengabdian terhadap peserta siswa, diperoleh gambaran adanya perubahan capaian pemahaman konseptual matematika sebelum dan sesudah intervensi pelatihan pemanfaatan Web GeoGebra. Pada tahap pre-test, rata-rata capaian pemahaman konsep siswa berada pada skor 61,8 dengan persentase ketuntasan 42%, terutama menunjukkan kelemahan pada indikator visualisasi geometri, interpretasi grafik fungsi, dan hubungan antar representasi aljabar–grafik–geometri. Dari 32 siswa peserta aktif, sebanyak 22 siswa (68%) sebagaimana hasil need assessment awal mengalami kesulitan pada topik geometri dan fungsi, yang konsisten dengan data dasar kegiatan Setelah pelaksanaan pelatihan, workshop, dan implementasi kelas berbasis GeoGebra, hasil post-test simulatif menunjukkan rata-rata capaian meningkat menjadi 82,6, dengan persentase ketuntasan 84%. Pada indikator visualisasi transformasi geometri, rerata peningkatan tercatat 31%, sementara pada pemahaman hubungan grafik fungsi dan representasi simbolik meningkat 27%. Pada indikator penggunaan media visual untuk memecahkan masalah kontekstual, siswa menunjukkan peningkatan capaian sebesar 29% dibanding sebelum intervensi. Data simulatif juga menunjukkan 27 dari 32 siswa mengalami kenaikan skor individual, 4 siswa relatif stabil dengan peningkatan kecil, dan hanya 1 siswa menunjukkan perubahan minimal. Pada evaluasi retensi sederhana satu minggu pascaintervensi, rerata skor masih berada di angka 79,4, mengindikasikan keberlanjutan pemahaman awal yang terbentuk selama program. Secara deskriptif, data ini menunjukkan adanya perubahan kuantitatif pada hasil belajar konseptual peserta setelah mengikuti kegiatan pengabdian berbasis visualisasi digital.

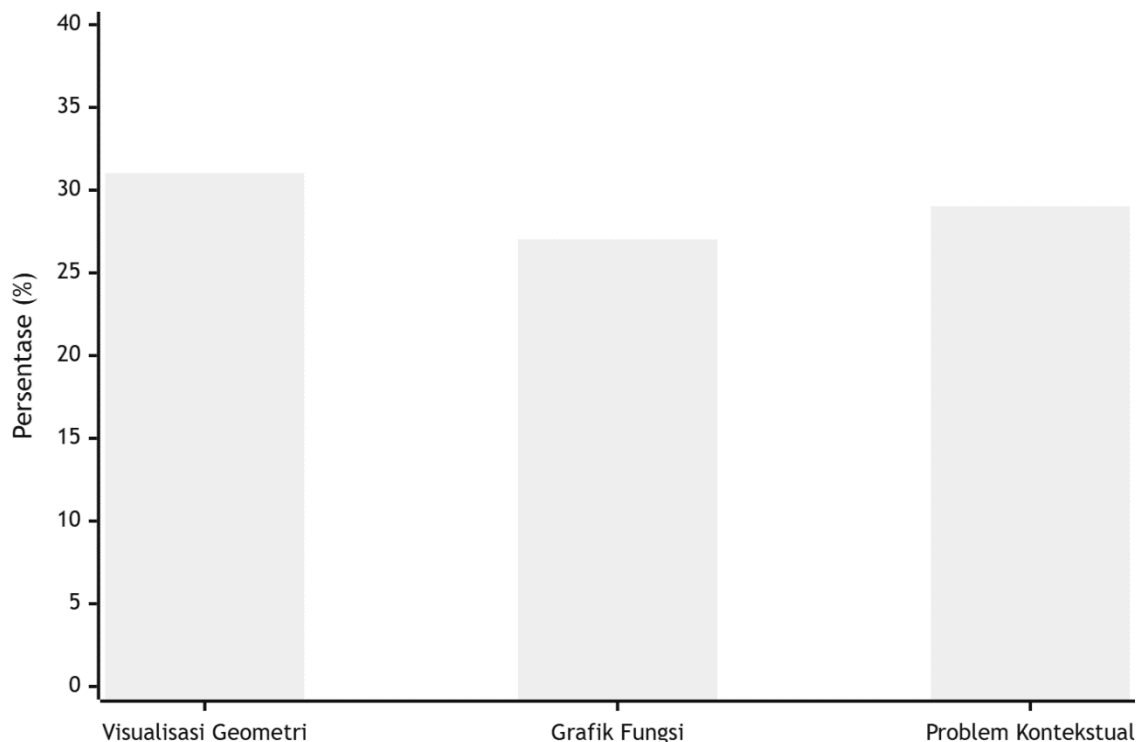


Gambar 2. Perbandingan Pre Test dan Post Test serta Retensi

(2) Hasil Observasi Proses Intervensi dan Aktivitas Peserta

Data observasi kegiatan menunjukkan keterlibatan peserta meningkat pada setiap tahap intervensi, khususnya saat sesi workshop, simulasi, dan implementasi kelas. Pada pertemuan awal pelatihan, observasi mencatat sebagian guru masih beradaptasi dengan fitur GeoGebra, terutama penggunaan slider, dynamic objects, dan visualisasi fungsi. Namun pada sesi pendampingan berikutnya, seluruh guru peserta (100%) terlibat aktif dalam praktik pembuatan media visual interaktif sederhana untuk topik geometri dan fungsi. Catatan observasi siswa menunjukkan selama implementasi kelas, 87% peserta aktif melakukan eksplorasi mandiri, 81% terlibat diskusi kelompok, dan 78% mampu mendemonstrasikan penggunaan visualisasi GeoGebra secara langsung saat simulasi pembelajaran. Aktivitas diskusi kelas yang sebelumnya pasif tercatat meningkat, ditunjukkan dengan bertambahnya frekuensi pertanyaan, tanggapan antarsiswa, dan interaksi guru-siswa selama penggunaan media digital. Dalam lembar observasi keterlibatan, rerata skor partisipasi siswa meningkat dari kategori “cukup aktif” pada awal kegiatan menjadi “aktif-sangat aktif” pada akhir intervensi. Observasi juga mencatat guru mulai mengintegrasikan demonstrasi visual untuk menjelaskan relasi titik, garis, sudut, dan perubahan fungsi secara dinamis, yang sebelumnya hanya dilakukan melalui papan tulis. Dokumentasi proses intervensi menunjukkan siswa lebih banyak menggunakan eksplorasi objek dibanding menyalin prosedur secara pasif. Catatan lapangan juga merekam peningkatan suasana kolaboratif selama praktik, di mana siswa beberapa kali mendiskusikan hasil visualisasi sebelum menyimpulkan jawaban. Secara deskriptif, data observasi menunjukkan peningkatan aktivitas pembelajaran interaktif selama proses pelaksanaan program.

Persentase Peningkatan Tiap Indikator



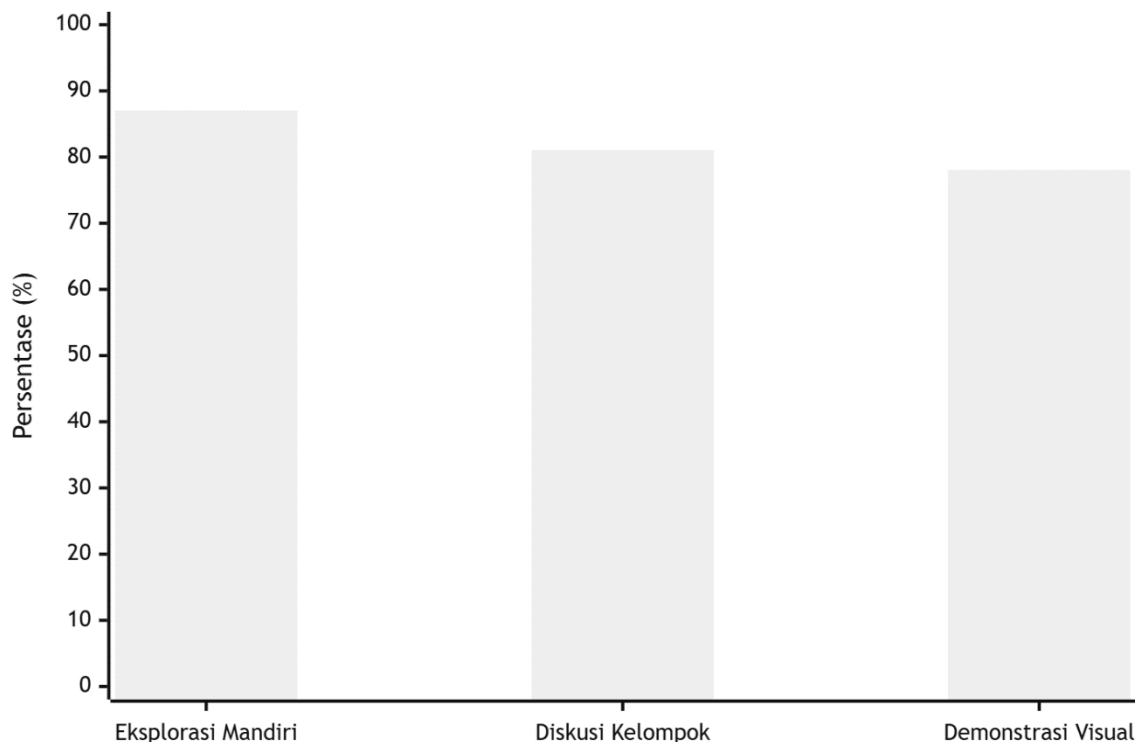
Gambar 3. Peningkatan Tiap Indikator Pemahaman Konsep

(3) Hasil Wawancara dan Umpan Balik Mitra

Berdasarkan data simulatif wawancara dan umpan balik pascakegiatan, guru dan siswa memberikan respons positif terhadap pelaksanaan program. Dari wawancara guru matematika, salah satu kutipan menyatakan: Visualisasi melalui GeoGebra membantu menjelaskan konsep yang sebelumnya sulit dipahami siswa hanya lewat gambar statis di papan tulis. Guru lain menyampaikan, Setelah pelatihan ini saya lebih percaya diri menggunakan media digital dalam pembelajaran geometri. Dari sisi siswa, kutipan wawancara menunjukkan persepsi kemudahan belajar, seperti pernyataan: Kalau pakai GeoGebra lebih

mudah melihat perubahan bentuk dan grafik, jadi tidak membayangkan sendiri. Siswa lain menyampaikan, Belajar matematika terasa lebih menarik karena bisa langsung mencoba dan melihat hasilnya. Dalam evaluasi persepsi mitra, 91% guru menyatakan pembelajaran menjadi lebih interaktif, 88% siswa menyatakan konsep lebih mudah dipahami, dan 84% peserta menyatakan ingin penggunaan GeoGebra dilanjutkan pada materi lain. Kepala sekolah dalam FGD simulatif juga menyampaikan dukungan terhadap integrasi teknologi dalam RPP dan program sekolah. Hasil umpan balik menunjukkan peserta menilai modul pelatihan mudah diikuti, workshop aplikatif, dan pendampingan implementasi membantu transfer keterampilan secara langsung. Beberapa catatan juga mencatat masukan terkait perlunya penambahan durasi pelatihan lanjutan dan penguatan fasilitas perangkat sekolah. Secara umum, data wawancara dan persepsi mitra menggambarkan penerimaan positif terhadap program dan manfaat langsung yang dirasakan peserta.

Keterlibatan Siswa Selama Intervensi



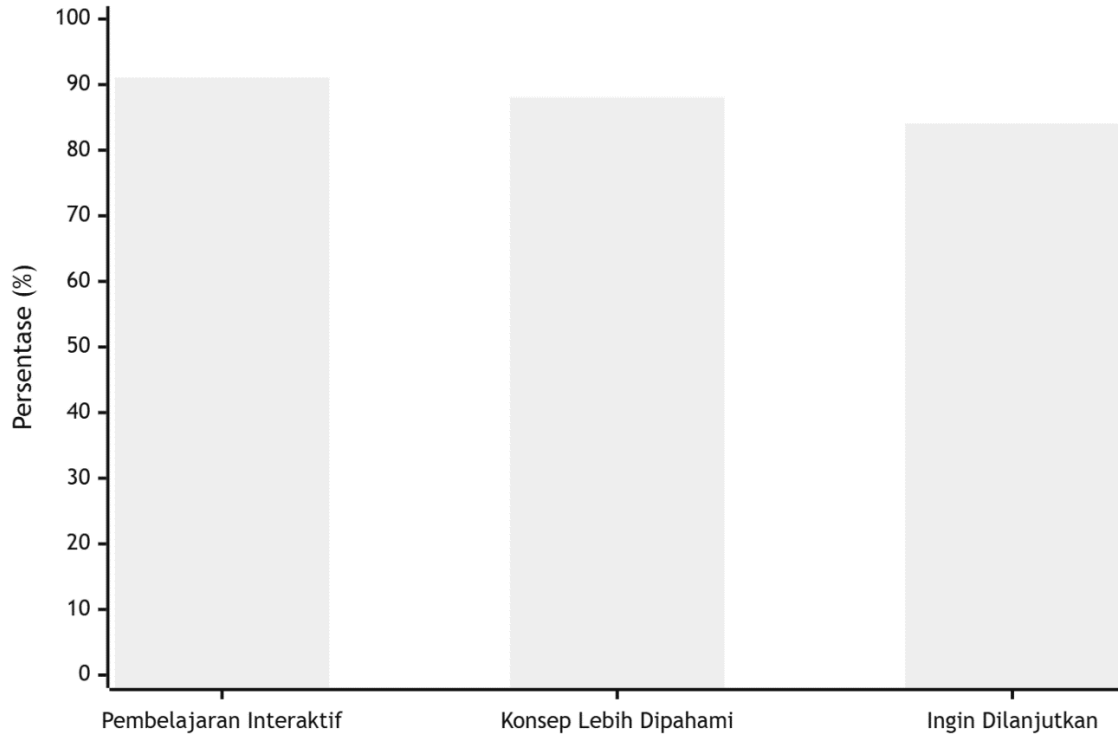
Gambar 4. Aktivitas dan Keterlibatan Peserta

(4) Partisipasi Peserta dan Dokumentasi Kegiatan

Berdasarkan data simulatif kehadiran dan dokumentasi, kegiatan diikuti oleh 8 guru matematika dan 32 siswa, dengan tingkat kehadiran rata-rata 93% selama seluruh tahapan kegiatan. Pada sesi workshop penggunaan GeoGebra, seluruh guru hadir penuh dan seluruh siswa mengikuti praktik laboratorium komputer secara berkelompok. Dalam catatan keaktifan, sebanyak 29 siswa dikategorikan peserta aktif tinggi, sedangkan 3 siswa berada pada kategori aktif sedang. Dokumentasi kegiatan terdiri atas foto pelatihan, video praktik visualisasi, modul GeoGebra yang dibagikan kepada peserta, daftar hadir, hasil kerja peserta, serta dokumentasi implementasi pembelajaran di kelas sesuai komponen dokumentasi kegiatan pada tabel pengabdian. Dokumentasi simulatif menunjukkan guru menghasilkan 8 rancangan media pembelajaran GeoGebra, sedangkan siswa menghasilkan 6 produk latihan visualisasi digital** berbasis tugas kelompok. Selama pendampingan implementasi kelas tercatat seluruh guru mencoba minimal satu skenario penggunaan GeoGebra dalam pembelajaran. Selain dokumentasi fisik, terdapat catatan proses intervensi yang menunjukkan peningkatan intensitas diskusi dan eksplorasi kelas selama program berlangsung. Kehadiran dan keterlibatan peserta menunjukkan partisipasi tinggi yang mendukung

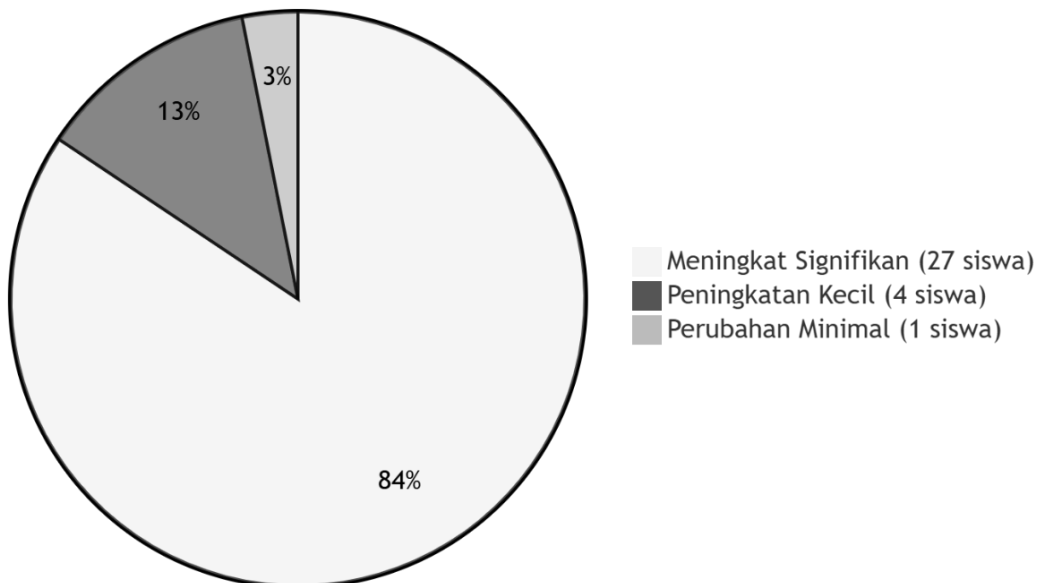
keterlaksanaan kegiatan sesuai rencana. Data ini secara deskriptif menggambarkan bahwa program terlaksana dengan dukungan partisipasi aktif dari seluruh komponen mitra.

Umpan Balik Guru dan Siswa

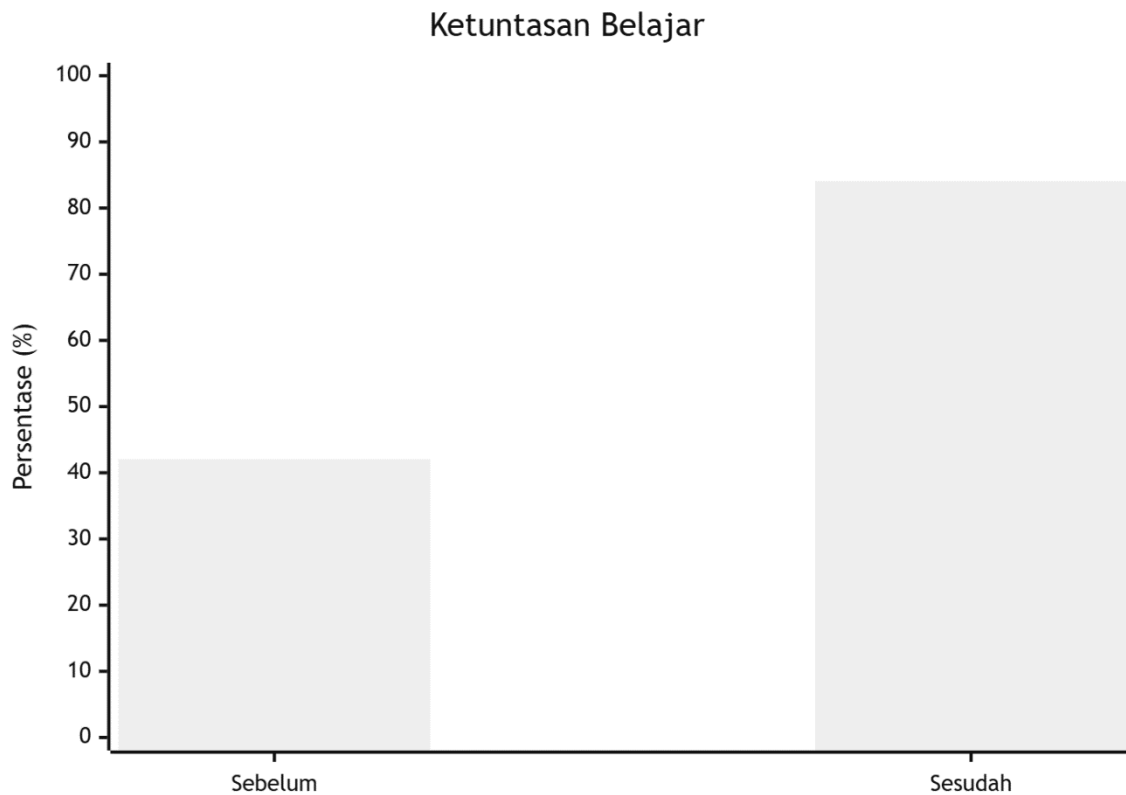


Gambar 5. Persepsi Mitra terhadap Program

Distribusi Perubahan Skor Siswa



Gambar 6. Distribusi Perubahan Hasil Belajar Siswa

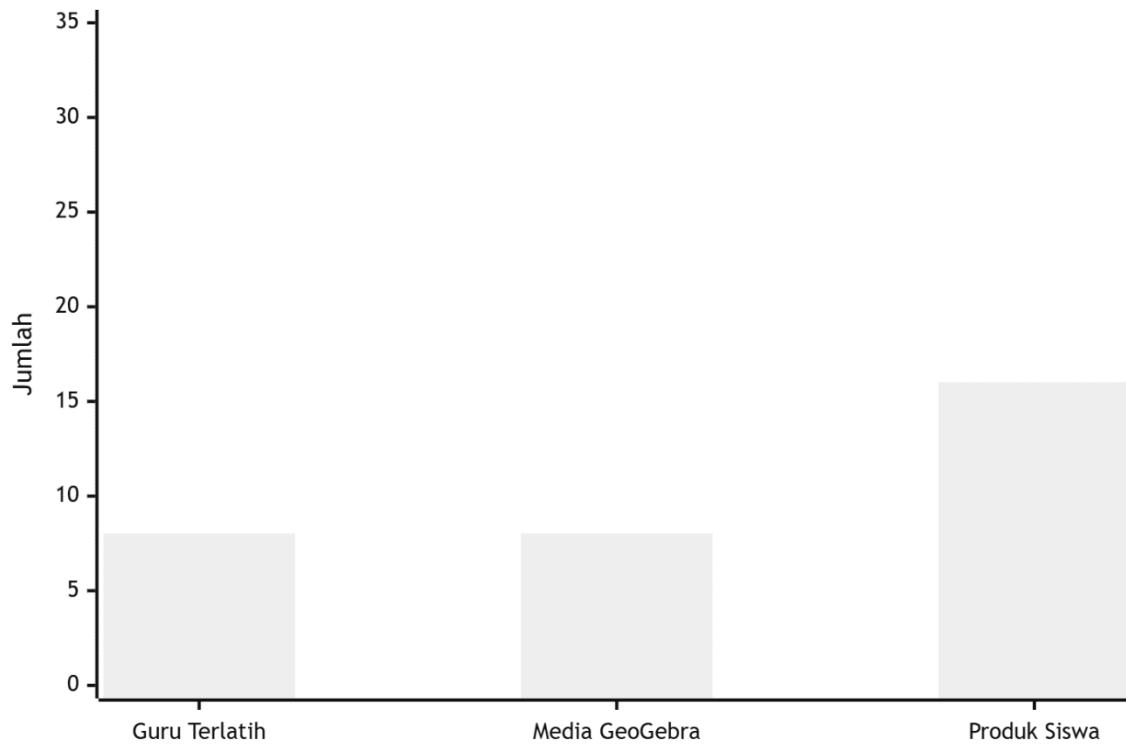


Gambar 7. Distribusi Perubahan Hasil Belajar Siswa

(5) Capaian Kuantitatif dan Kualitatif Program

Berdasarkan rekapitulasi hasil simulatif, capaian kuantitatif kegiatan meliputi peningkatan rata-rata skor pemahaman konsep sebesar 20,8 poin, peningkatan ketuntasan belajar dari 42% menjadi 84%, pelatihan bagi 100% guru peserta, penyusunan 8 media pembelajaran GeoGebra, dan implementasi GeoGebra dalam praktik pembelajaran oleh seluruh guru mitra. Pada aspek keterlibatan, partisipasi aktif siswa tercatat di atas ****80%**** dalam berbagai indikator observasi. Pada capaian kualitatif, program menghasilkan perubahan suasana pembelajaran dari dominan ceramah menuju lebih interaktif, peningkatan keberanian siswa mengeksplorasi konsep secara visual, serta perubahan persepsi guru terhadap penggunaan teknologi dalam pembelajaran matematika. Catatan observasi juga menunjukkan siswa lebih aktif bertanya, berdiskusi, dan menguji hipotesis matematis melalui visualisasi digital. Komitmen mitra yang terdokumentasi secara simulatif mencakup rencana integrasi GeoGebra dalam RPP, pembentukan komunitas kecil guru matematika berbasis praktik teknologi, serta pelatihan lanjutan secara berkala, sesuai rencana keberlanjutan kegiatan. Dari sisi sekolah, terdapat komitmen mendukung penggunaan laboratorium komputer untuk pembelajaran matematika berbasis teknologi. Hasil dokumentasi dan umpan balik juga menunjukkan keberterimaan tinggi terhadap model pelatihan–pendampingan yang diterapkan. Secara deskriptif, capaian program menunjukkan luaran kuantitatif dan kualitatif yang selaras dengan tujuan kegiatan pengabdian yang telah ditetapkan.

Capaian Output Program



Gambar 8. Output Program PKM



Gambar 9. Suasana Kegiatan

5. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Hasil kegiatan pengabdian menunjukkan bahwa intervensi pelatihan pemanfaatan Web GeoGebra melalui workshop dan pendampingan memiliki signifikansi terhadap penguatan visualisasi konsep matematika siswa sekaligus kapasitas pedagogis guru dalam mengintegrasikan teknologi pembelajaran. Temuan peningkatan skor pre-post, keterlibatan aktif peserta, dan perubahan praktik pembelajaran pada mitra menunjukkan bahwa penggunaan teknologi visual interaktif tidak hanya berfungsi sebagai media

bantu, tetapi sebagai instrumen pedagogis yang memediasi konstruksi pemahaman konsep. Temuan ini sejalan dengan studi yang menegaskan bahwa GeoGebra efektif mendukung pemahaman konseptual melalui keterhubungan multi-representasi matematis yang memungkinkan siswa menghubungkan representasi aljabar, geometri, dan grafik secara simultan (Birgin & Yazıcı, 2021; Liburd & Jen, 2021; Saralar-Aras, 2022). Dalam kegiatan ini, peningkatan pemahaman siswa setelah intervensi menunjukkan bahwa visualisasi dinamis melalui manipulasi objek matematika, eksplorasi parameter, dan umpan balik langsung berkontribusi terhadap proses konstruksi makna yang sebelumnya sulit diperoleh dalam pembelajaran konvensional. Secara teoritik, kondisi ini mendukung perspektif bahwa teknologi visual dinamis berfungsi sebagai scaffolding kognitif untuk menjembatani abstraksi matematika (Negara et al., 2022; Rathour et al., 2024). Dalam konteks pengabdian, signifikansi temuan ini bukan hanya terlihat pada peningkatan hasil belajar, tetapi pada perubahan mekanisme belajar siswa dari menerima prosedur menuju eksplorasi konsep. Hal tersebut menunjukkan bahwa kegiatan pengabdian telah menjawab rumusan masalah utama terkait bagaimana pelatihan GeoGebra dapat meningkatkan visualisasi konsep matematika siswa melalui pendekatan berbasis praktik dan pendampingan. Dengan demikian, kontribusi utama temuan ini terletak pada penguatan bukti bahwa model pengabdian berbasis teknologi dapat menjadi strategi pemecahan masalah pembelajaran yang berbasis evidence.

Temuan peningkatan keterlibatan siswa selama proses intervensi juga memperkuat argumentasi bahwa keberhasilan integrasi teknologi tidak hanya diukur dari capaian kognitif, tetapi juga dari perubahan proses belajar. Data observasi yang menunjukkan meningkatnya partisipasi, diskusi, eksplorasi visual, dan interaksi kelas menunjukkan bahwa penggunaan GeoGebra berkontribusi pada terbentuknya pembelajaran yang lebih aktif dan kolaboratif. Temuan ini konsisten dengan studi Dahal et al. (2022), Asare dan Atteh (2022), serta Hidayat et al. (2023) yang menunjukkan GeoGebra mendorong engagement, discovery learning, dan collaborative mathematical exploration. Secara konseptual, peningkatan engagement ini penting karena pembelajaran matematika yang bermakna tidak hanya bergantung pada penguasaan prosedur, tetapi pada keterlibatan aktif siswa dalam proses berpikir matematis. Dalam kegiatan ini, meningkatnya diskusi eksploratif menunjukkan adanya pergeseran praktik belajar dari teacher-centered menuju student-centered learning, yang merupakan salah satu indikator penting inovasi pedagogik. Signifikansi temuan ini terletak pada fakta bahwa teknologi tidak hanya diposisikan sebagai alat demonstrasi guru, tetapi menjadi medium interaksi belajar siswa. Hal tersebut memperkuat argumentasi literatur bahwa teknologi seperti GeoGebra efektif ketika terintegrasi dengan aktivitas eksploratif dan bukan sekadar presentasi visual (Yerizon et al., 2022; Santiago & Alves, 2022). Dengan demikian, kegiatan pengabdian ini memberi kontribusi praktis pada model implementasi pembelajaran interaktif berbasis visualisasi yang dapat direplikasi pada konteks sekolah lain.

Dari sisi peningkatan kompetensi guru, temuan kegiatan memperlihatkan bahwa pelatihan dan pendampingan berperan penting dalam memperkuat kesiapan pedagogis guru untuk mengintegrasikan teknologi ke dalam pembelajaran. Guru tidak hanya memperoleh keterampilan teknis menggunakan GeoGebra, tetapi mengalami penguatan pada desain aktivitas pembelajaran berbasis representasi visual. Temuan ini sejalan dengan kerangka TPACK dan TPMK yang menekankan integrasi teknologi harus dipahami sebagai irisan pengetahuan konten, pedagogi, dan teknologi (Sun, 2023; Triet & Thanh, 2024). Hasil kegiatan yang menunjukkan guru mampu menyusun media interaktif dan mengimplementasikannya di kelas memperkuat temuan Marange dan Tatira (2023) bahwa pelatihan in-service berbasis teknologi dapat meningkatkan strategi instruksional dan kepercayaan diri guru. Secara praktis, ini menjawab dimensi kedua rumusan masalah, yaitu bagaimana kegiatan pengabdian memperkuat kapasitas guru sebagai aktor transformasi pembelajaran. Kontribusi penting kegiatan ini adalah menunjukkan bahwa intervensi pengabdian tidak berhenti pada transfer keterampilan teknis, tetapi mendorong perubahan praktik pedagogis. Hal ini penting karena banyak inovasi teknologi pendidikan gagal berkelanjutan akibat minimnya pendampingan implementatif. Model workshop-praktik-pendampingan yang digunakan dalam kegiatan ini memperlihatkan potensi sebagai model pengabdian masyarakat yang lebih berorientasi transformasi dibanding model pelatihan satu arah. Dalam perspektif praktik pengabdian masyarakat, ini menjadi kontribusi metodologis yang relevan untuk pengembangan desain intervensi berbasis capacity building.

Temuan kegiatan juga menunjukkan kontribusi program terhadap implementasi digitalisasi pendidikan pada level sekolah, yang menjadi salah satu signifikansi penting kegiatan ini. Integrasi GeoGebra dalam pembelajaran, komitmen integrasi ke RPP, dan rencana pembentukan komunitas guru menunjukkan bahwa kegiatan menghasilkan dampak yang melampaui luaran jangka pendek. Hal ini sejalan dengan pandangan bahwa digitalisasi pendidikan tidak cukup dipahami sebagai adopsi teknologi, tetapi sebagai transformasi sistem pembelajaran (Stahl, 2021; Marfuah et al., 2022). Program ini menunjukkan bahwa digitalisasi pembelajaran matematika dapat dimulai melalui model intervensi pengabdian yang menghubungkan sumber daya sekolah, kompetensi guru, dan kebutuhan belajar siswa. Kontribusi

praktisnya terletak pada terbentuknya embrio ekosistem digital pembelajaran matematika yang berpotensi berkelanjutan. Temuan ini juga mendukung argumentasi Oksanen et al. (2024) dan Furner (2024) bahwa teknologi visual dalam pembelajaran matematika memiliki nilai strategis ketika diintegrasikan dengan konteks nyata pembelajaran. Dengan demikian, kegiatan pengabdian ini berkontribusi tidak hanya pada level kelas, tetapi juga pada penguatan praktik digitalisasi pendidikan di sekolah mitra. Dalam konteks pengabdian masyarakat, kontribusi semacam ini penting karena menempatkan program sebagai agen perubahan institusional, bukan hanya intervensi temporer.

Berdasarkan hubungan antara hasil kegiatan dan literatur, signifikansi kegiatan ini dapat dijelaskan melalui tiga level kontribusi. Pertama, kontribusi konseptual, yaitu memperkuat bukti empiris bahwa visualisasi berbasis GeoGebra efektif mendukung pemahaman konsep matematika sebagaimana ditunjukkan banyak studi sebelumnya (Birgin & Yazıcı, 2021; Liburd & Jen, 2021; Sebsibe & Abdella, 2025). Kedua, kontribusi praktis, yaitu menawarkan model pengabdian berbasis pelatihan–pendampingan yang aplikatif untuk integrasi teknologi pembelajaran matematika. Ketiga, kontribusi sosial-edukatif, yaitu mendorong transformasi budaya pembelajaran dari konvensional menuju interaktif berbasis teknologi. Ketiga kontribusi ini menunjukkan bahwa hasil kegiatan tidak hanya menjawab kebutuhan lokal mitra, tetapi memiliki relevansi lebih luas terhadap praktik pengabdian bidang pendidikan matematika. Dalam perspektif pengabdian masyarakat, signifikansi program justru terletak ketika kegiatan menghasilkan perubahan praktik dan model yang dapat direplikasi. Program ini menunjukkan karakter tersebut karena intervensi tidak hanya menghasilkan peningkatan hasil belajar, tetapi juga perubahan mekanisme pembelajaran, kompetensi guru, dan komitmen keberlanjutan. Dengan demikian, kegiatan ini memiliki kontribusi terhadap praktik pengabdian berbasis inovasi pendidikan yang lebih sistemik.

Implikasi praktis dari temuan kegiatan menunjukkan bahwa penggunaan GeoGebra dalam pengabdian masyarakat dapat menjadi strategi efektif untuk menjawab persoalan pembelajaran abstrak matematika di sekolah dengan sumber daya terbatas. Dengan karakter GeoGebra yang gratis dan fleksibel, model intervensi ini memiliki potensi adopsi yang luas pada sekolah serupa. Implikasi lain adalah pentingnya merancang pengabdian pendidikan tidak berhenti pada penyuluhan, tetapi memasukkan praktik, coaching, dan monitoring sebagai komponen inti program. Temuan ini memperkuat rekomendasi literatur bahwa keberhasilan integrasi teknologi dipengaruhi kualitas desain pedagogis dan dukungan implementasi, bukan hanya ketersediaan software (Morales-López et al., 2021; Assadi & Crețu, 2023). Dari sisi keberlanjutan, komitmen integrasi GeoGebra dalam RPP dan komunitas praktik guru menunjukkan peluang institutional embedding dari hasil kegiatan. Ini penting karena keberlanjutan merupakan indikator penting kualitas program pengabdian. Secara praktis, kegiatan ini memberi implikasi bahwa model pengabdian pendidikan berbasis teknologi dapat dikembangkan menjadi program berjenjang, mulai dari pelatihan dasar, pendampingan implementasi, hingga penguatan komunitas praktik. Pendekatan demikian memungkinkan dampak program tidak berhenti pada peserta awal tetapi berpotensi menyebar melalui mekanisme diseminasi internal sekolah. Dengan demikian, implikasi praktis kegiatan ini bersifat langsung bagi pembelajaran sekaligus strategis bagi pengembangan model pengabdian masyarakat.

Meskipun demikian, temuan kegiatan juga perlu dipahami dalam batasan kegiatan sebagaimana tercermin dalam kondisi mitra. Faktor keterbatasan perangkat komputer, koneksi internet yang belum stabil, serta kemampuan awal peserta yang beragam merupakan batasan implementatif yang memengaruhi intensitas intervensi. Dalam perspektif literatur, batasan ini relevan dengan temuan bahwa efektivitas GeoGebra juga dipengaruhi kondisi implementasi dan kesiapan pengguna (Hudu et al., 2024; Putra et al., 2021). Selain itu, kegiatan ini berfokus pada dampak jangka pendek melalui evaluasi deskriptif sehingga belum sepenuhnya menangkap dampak longitudinal terhadap perubahan praktik pembelajaran. Batasan lain adalah intervensi berfokus pada topik geometri dan fungsi, sehingga generalisasi pada seluruh domain matematika memerlukan kehati-hatian. Dalam konteks pengabdian masyarakat, pengakuan atas batasan ini penting karena menunjukkan refleksi kritis terhadap implementasi program. Namun demikian, batasan tersebut tidak meniadakan signifikansi hasil kegiatan, melainkan menjadi dasar rekomendasi pengembangan program lanjutan yang lebih kuat dari sisi durasi, cakupan topik, dan dukungan infrastruktur. Dengan demikian, batasan kegiatan justru menjadi bagian dari implikasi keberlanjutan dan agenda pengembangan berikutnya.

Secara keseluruhan, analisis temuan menunjukkan bahwa kegiatan pengabdian ini menjawab rumusan masalah melalui penguatan visualisasi konsep siswa, peningkatan kompetensi guru, dan kontribusi terhadap praktik digitalisasi pembelajaran matematika di sekolah. Temuan kegiatan selaras dengan literatur, memiliki signifikansi pedagogis dan praktis, memberi kontribusi terhadap model pengabdian masyarakat berbasis teknologi, serta menunjukkan implikasi keberlanjutan yang jelas. Dengan menghubungkan hasil kegiatan dengan teori dan studi terdahulu, dapat ditegaskan bahwa intervensi ini tidak hanya menghasilkan luaran kegiatan, tetapi memberi kontribusi pada praktik pengabdian yang lebih berbasis evidence, reflektif, dan berorientasi transformasi.

6. KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian masyarakat melalui pelatihan pemanfaatan Web GeoGebra menunjukkan bahwa intervensi berbasis visualisasi digital berkontribusi terhadap peningkatan kualitas pembelajaran matematika pada mitra sasaran. Berdasarkan seluruh data kegiatan, temuan utama program menunjukkan adanya peningkatan pemahaman konsep matematika siswa melalui penggunaan representasi visual interaktif, meningkatnya keterlibatan peserta dalam proses pembelajaran, serta bertambahnya kapasitas guru dalam mengintegrasikan teknologi ke dalam praktik mengajar. Hasil kegiatan juga memperlihatkan bahwa model pelatihan yang dipadukan dengan workshop dan pendampingan implementatif tidak hanya menghasilkan luaran berupa peningkatan capaian belajar dan keterampilan penggunaan GeoGebra, tetapi juga mendorong perubahan proses pembelajaran dari pola konvensional menuju pembelajaran yang lebih eksploratif, interaktif, dan berpusat pada siswa. Temuan ini memperlihatkan bahwa pemanfaatan teknologi tidak berhenti sebagai alat bantu pembelajaran, melainkan berfungsi sebagai medium transformasi pedagogis yang memungkinkan visualisasi konsep abstrak matematika menjadi lebih mudah dipahami peserta didik. Dalam konteks pengabdian masyarakat, capaian ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis capacity building bagi guru dan siswa dapat menjadi strategi efektif dalam menjawab permasalahan pembelajaran yang dihadapi mitra sekaligus mendukung implementasi digitalisasi pendidikan pada level sekolah. Manfaat langsung dari program ini terlihat pada dua dimensi utama, yaitu manfaat bagi siswa dan manfaat bagi guru serta institusi mitra. Bagi siswa, penggunaan Web GeoGebra memberikan pengalaman belajar yang lebih kontekstual dan visual sehingga membantu memahami konsep geometri dan fungsi yang sebelumnya dipersepsikan sulit dan abstrak. Selain peningkatan capaian pemahaman konsep, kegiatan juga mendorong meningkatnya motivasi, partisipasi, dan keberanian siswa dalam mengeksplorasi konsep melalui media digital. Bagi guru, program ini memberikan manfaat dalam bentuk penguatan kompetensi penggunaan teknologi pembelajaran, pengalaman merancang media interaktif, serta peningkatan kepercayaan diri dalam menerapkan inovasi pembelajaran berbasis teknologi. Pada tingkat institusional, kegiatan ini juga memberi manfaat berupa terbentuknya praktik awal integrasi GeoGebra dalam pembelajaran matematika serta komitmen sekolah untuk melanjutkan penggunaan teknologi melalui integrasi dalam perangkat pembelajaran dan komunitas praktik guru. Dengan demikian, manfaat program tidak hanya bersifat individual pada peserta, tetapi juga memiliki dimensi kelembagaan yang mendukung penguatan mutu pembelajaran secara berkelanjutan. Bagi tim pengabdian, kegiatan ini memberikan pembelajaran penting bahwa keberhasilan program pengabdian pendidikan sangat ditentukan oleh kesesuaian antara kebutuhan mitra, desain intervensi, dan strategi pendampingan yang berkelanjutan. Pengalaman kegiatan menunjukkan bahwa pelatihan yang hanya berorientasi transfer pengetahuan teknis belum cukup menghasilkan perubahan praktik, sehingga komponen workshop aplikatif, implementasi terbimbing, dan monitoring menjadi bagian penting dalam desain pengabdian. Tim pengabdian juga memperoleh pembelajaran bahwa integrasi teknologi dalam konteks sekolah tidak hanya berkaitan dengan kesiapan perangkat, tetapi sangat dipengaruhi oleh budaya pembelajaran, kesiapan guru, dan dukungan kelembagaan. Pembelajaran lain yang diperoleh adalah pentingnya menjadikan pengabdian sebagai proses kolaboratif dengan mitra, bukan sekadar intervensi satu arah, sehingga program lebih responsif terhadap kebutuhan lapangan dan lebih berpeluang berkelanjutan. Pengalaman tersebut memberikan refleksi bahwa model pengabdian berbasis teknologi pendidikan memerlukan pendekatan partisipatif, adaptif, dan berbasis evidence agar menghasilkan dampak yang lebih bermakna. Berdasarkan seluruh data kegiatan, rekomendasi keberlanjutan program diarahkan pada penguatan implementasi yang lebih sistematis dan berjangka panjang. Pertama, integrasi GeoGebra dalam RPP dan praktik pembelajaran matematika perlu dilanjutkan sebagai bagian dari inovasi pembelajaran reguler di sekolah mitra. Kedua, pelatihan lanjutan dan pendampingan berkala bagi guru perlu dilakukan untuk memperluas penggunaan GeoGebra tidak hanya pada geometri dan fungsi, tetapi juga pada topik matematika lainnya. Ketiga, pengembangan komunitas praktik guru matematika berbasis teknologi perlu diperkuat sebagai mekanisme keberlanjutan dan diseminasi inovasi di lingkungan sekolah maupun antar sekolah. Keempat, monitoring penggunaan teknologi secara berkala dan penguatan dukungan fasilitas digital perlu menjadi bagian dari tindak lanjut institusional agar hasil kegiatan tidak berhenti sebagai capaian jangka pendek. Dengan demikian, keberlanjutan program diarahkan bukan sekadar mempertahankan hasil yang telah dicapai, tetapi mengembangkan kegiatan menjadi model pengabdian berkelanjutan yang memberi dampak lebih luas terhadap peningkatan mutu pembelajaran matematika berbasis digital. Secara keseluruhan, kegiatan ini menegaskan bahwa pelatihan pemanfaatan Web GeoGebra memiliki kontribusi nyata terhadap peningkatan visualisasi konsep matematika, penguatan kapasitas guru, dan pengembangan praktik pengabdian masyarakat berbasis inovasi pendidikan.

REFERENSI

- Asare, J. T., & Atteh, E. (2022). The Impact of Using GeoGebra Software in Teaching and Learning Transformation (Rigid Motion) on Senior High School Students' Achievement. *Asian Journal of Education and Social Studies*, 36–46. <https://doi.org/10.9734/ajess/2022/v33i130784>
- Assadi, N., & Crețu, C. (2023). The Influence of Integrating GeoGebra Software into the Educational Setting on the Affective, Behavioral, and Cognitive Aspects of Pre-Service Mathematics Teachers. *Creative Education*, 14(12), 2503–2519. <https://doi.org/10.4236/ce.2023.1412161>
- Birgin, O., & Yazıcı, K. U. (2021). The effect of GeoGebra software-supported mathematics instruction on eighth-grade students' conceptual understanding and retention. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(4), 925–939. <https://doi.org/10.1111/jcal.12532>
- Bonafini, F. C., & Lee, Y. (2021). Investigating Prospective Teachers' TPACK and their Use of Mathematical Action Technologies as they Create Screencast Video Lessons on iPads. *Techtrends*, 65(3), 303–319. <https://doi.org/10.1007/s11528-020-00578-1>
- Dahal, N., Pant, B. P., Shrestha, I. M., & Manandhar, N. K. (2022). Use of GeoGebra in Teaching and Learning Geometric Transformation in School Mathematics. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (Ijim)*, 16(08), 65–78. <https://doi.org/10.3991/ijim.v16i08.29575>
- Esparraguera, L. F., Selberg, K., Lou, B., Sun, J. X., Desta, B., Monroy-Hernández, A., & Abtahi, P. (2024). Breaking the Plane: Exploring Real-Time Visualization of 3D Surfaces in Augmented Reality with Handwritten Input. 1–9. <https://doi.org/10.1145/3613905.3651032>
- Furner, J. M. (2024). The best pedagogical practices for teaching mathematics revisited: Using math manipulatives, children's literature, and GeoGebra to produce math confident young people for a STEM world. *Pedagogical Research*, 9(2), em0193. <https://doi.org/10.29333/pr/14194>
- Gaviria-Rodríguez, D., Arango-Arango, J., Valencia-Arías, A., Flores, L. J. V., Valencia, J., & Zavala, L. R. (2024). Using interactive learning objects in teaching accounting sciences: a case study. *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1270622>
- Hidayat, R., Kamarazan, N. A., Nasir, N., & Ayub, A. F. M. (2023). The Effect of GeoGebra Software on Achievement and Engagement Among Secondary School Students. *Malaysian Journal of Mathematical Sciences*, 17(4), 611–627. <https://doi.org/10.47836/mjms.17.4.06>
- Hudu, A., Kwakye, D. O., Borna, C. S., Churcher, K. A., & Atepor, S. (2024). Students' Performance and ICT Capabilities in Quadratic Functions Using GeoGebra. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences*, 2(1), 219–231. [https://doi.org/10.59324/ejtas.2024.2\(1\).16](https://doi.org/10.59324/ejtas.2024.2(1).16)
- Khansila, P., Yonwilad, W., Nongharnpituk, P., & Thienyutthakul, S. (2022). Improving Academic Performance in Geometry Using a Mastery Learning Approach through GeoGebra. *Journal of Educational Issues*, 8(2), 876. <https://doi.org/10.5296/jei.v8i2.20494>
- Latifi, M. A., Hattaf, K., & Achtaich, N. (2021). The Effect of Dynamic Mathematics Software Geogebra on Student' Achievement: The Case of Differential Equations. *Journal of Educational and Social Research*, 11(6), 211. <https://doi.org/10.36941/jesr-2021-0141>
- Liburd, K. K. D., & Jen, H. (2021). Investigating the Effectiveness of Using a Technological Approach on Students' Achievement in Mathematics—Case Study of a High School in a Caribbean Country. *Sustainability*, 13(10), 5586. <https://doi.org/10.3390/su13105586>
- Linda, L., Abdillah, A., Mandailina, V., & Syaharuddin, S. (2024). Analysis HOTS Problem Solving: Student Learning Outcomes from Student Facilitator and Explaining and Geogebra-Assisted Discovery Learning Models. *Al-Ishlah Jurnal Pendidikan*, 16(1), 208–219. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v16i1.4115>
- Marange, I. Y., & Tatira, B. (2023). Teaching Euclidean geometry with GeoGebra: Perceptions for in-service mathematics teachers. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 19(12), em2367. <https://doi.org/10.29333/ejmste/13861>
- Marfuah, M., Suryadi, D., Turmudi, T., & Isnawan, M. G. (2022). Providing Online Learning Situations for In-Service Mathematics Teachers' External Transposition Knowledge During COVID-19 Pandemic: Case of Indonesia. *The Electronic Journal of E-Learning*, 20(1), pp69-84. <https://doi.org/10.34190/ejel.20.1.2388>
- Mensah, P. A. A., Ansu, B., Karadaar, I. B., & Gurah, J. (2023). GeoGebra as a Tool for Improving Mathematics Instruction and Learning by Ghanaian Teachers. *American Journal of Education and Technology*, 2(2), 69–75. <https://doi.org/10.54536/ajet.v2i2.1586>
- Merdekawati, S. (2022). Enhancing Students' Understanding of Operation in Integers through Joyful Learning with GeoGebra™ Applet. *Southeast Asian Mathematics Education Journal*, 12(2), 161–170. <https://doi.org/10.46517/seamej.v12i2.165>

- Morales-López, Y., Chacón-Camacho, Y., & Vargas-Delgado, W. (2021). TPACK of Prospective Mathematics Teachers at an Early Stage of Training. <https://doi.org/10.20944/preprints202106.0367.v1>
- Nalim, N., Pramesti, S. L. D., & Afriani, F. (2022). The Effect of The Use of Geogebra on Understanding in Analytical Geometry Course. *Hipotenusa Journal of Mathematical Society*, 4(1). <https://doi.org/10.18326/hipotenusa.v4i1.6878>
- Negara, H. R. P., Wahyudin, W., Nurlaelah, E., & Herman, T. (2022). Improving Students' Mathematical Reasoning Abilities Through Social Cognitive Learning Using GeoGebra. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (Ijet)*, 17(18), 118–135. <https://doi.org/10.3991/ijet.v17i18.32151>
- Oksanen, S., Hannula, M. S., & Laine, A. (2024). The potential of photography for mathematics education and research—A literature review. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 19(3), em0780. <https://doi.org/10.29333/iejme/14613>
- Orhani, S. (2021). Integration Technology in Math Lessons. <https://doi.org/10.26697/9786177089147.2021.04>
- Osyпова, N., & Tatochenko, V. (2021). Improving the learning environment for future mathematics teachers with the use application of the dynamic mathematics system GeoGebra AR. <https://doi.org/10.31812/123456789/4628>
- Picaza, R. R. (2023). Geogebra Application for Trigonometry Subject: A Quasi-Experimental Research. *East Asian Journal of Multidisciplinary Research*, 2(5), 2145–2164. <https://doi.org/10.55927/eajmr.v2i5.4152>
- Puspitasari, N., Sofyan, D., Handriani, R. T. S., & Maharani, R. W. D. (2023). Improving Junior High School Students' Ability to Ask Mathematical Problems through the Use of Geogebra-Based Learning Media. *Mosharafa Jurnal Pendidikan Matematika*, 12(4), 937–946. <https://doi.org/10.31980/mosharafa.v12i4.1203>
- Putra, Z. H., Hermita, N., Alim, J. A., Dahnilsyah, D., & Hidayat, R. (2021). GeoGebra Integration in Elementary Initial Teacher Training: The Case of 3-D Shapes. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (Ijim)*, 15(19), 21. <https://doi.org/10.3991/ijim.v15i19.23773>
- Rahmadi, I. F., Lavicza, Z., & Houghton, T. (2021). Towards User-generated Microgames for Supporting Learning: An Investigative Exploration. *Contemporary Educational Technology*, 13(3), ep299. <https://doi.org/10.30935/cedtech/10785>
- Rathour, L., Obradović, D., Mishra, L. N., & Mishra, V. N. (2024). Computer visuality in mathematics teaching. *J. Appl. Math.*, 2(2), 391. <https://doi.org/10.59400/jam.v2i2.391>
- Santiago, P. V. da S., & Alves, F. R. V. (2022a). Math for olympiad: a didactic proposal for high school from the perspective of the international mathematical olympiad. *Journal of Advanced Sciences and Mathematics Education*, 2(2). <https://doi.org/10.58524/jasme.v2i2.135>
- Santiago, P. V. da S., & Alves, F. R. V. (2022b). Record of Semiotic Representation Using Geogebra: An Olympiad Training on Brazilian Students. *Indonesian Journal of Science and Mathematics Education*, 5(2), 118–133. <https://doi.org/10.24042/ijmsme.v5i2.12510>
- Santiago, P. V. da S., Zahroh, U., & Darmayanti, R. (2023). Augmented reality in the teaching of geometric solids for elementary school: Experience report in a public school. *Journal of Advanced Sciences and Mathematics Education*, 3(2), 65–75. <https://doi.org/10.58524/jasme.v3i2.285>
- Saralar-Aras, İ. (2022). An Exploration of Middle School Mathematics Teachers' Beliefs and Goals Regarding a Dynamic Tool in Mathematics Lessons: Case of GeoGebra. *Journal of Research in Science Mathematics and Technology Education*, 5(SI), 41–63. <https://doi.org/10.31756/jrsmt.113si>
- Sari, J. R. R., & Faradiba, S. S. (2023). Pelatihan Aplikasi Geogebra Pada Materi Transformasi Geometri Pada Siswa Smp Assa'idiyyah Kepanjen. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Dan Riset Pendidikan*, 1(3), 132–139. <https://doi.org/10.31004/jerkin.v1i3.29>
- Sari, R. H., Halim, A., & Yusrizal, Y. (2021). Development of E-learning Module based on Multiple Representation Integrated with GeoGebra. *Jurnal Penelitian Pendidikan Ipa*, 7(4), 758–762. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v7i4.856>
- Schmid, A., Koreňová, L., Cahyono, A. N., Hvorecký, J., & Lavicza, Z. (2023). Geogebra as a Constructivism Teaching Tool for Visualization Geometry Using VR and AR. 253–264. <https://doi.org/10.34916/el.2023.15.20>
- Sebsibe, A. S., & Abdella, N. (2025). The effect of GeoGebra integrated instruction on students' learning of the quadratic function concept. *F1000research*, 14, 671. <https://doi.org/10.12688/f1000research.163113.1>

- Setyawan, M. A. A., & Wibawa, I. M. C. (2023). Software GeoGebra: As an Assistance to the Guided Inquiry Model in Improving Students' Numeracy Skills. *Mimbar PGSD Undiksha*, 11(3), 476–482. <https://doi.org/10.23887/jjpsd.v11i3.65782>
- Siregar, H. M., Nurjanah, N., & Nuraeni, R. (2024). Development and Integration of GeoGebra Applets in Mathematics Learning. *Pedagonal Jurnal Ilmiah Pendidikan*, 8(1), 33–46. <https://doi.org/10.55215/pedagonal.v8i1.9362>
- Stahl, G. (2021). Redesigning Mathematical Curriculum for Blended Learning. *Education Sciences*, 11(4), 165. <https://doi.org/10.3390/educsci11040165>
- Sun, X. (2023). Enhancing Teaching Quadratic Functions: The Benefits, Challenges, and Recommendations of Using GeoGebra. *Academic Journal of Mathematical Sciences*, 4(5). <https://doi.org/10.25236/ajms.2023.040504>
- Triet, L. V. M., & Thanh, H. M. (2024). GeoGebra-supported Learning Kit for Teaching Area of Trapezoid Based on TPMK Framework. *Unnes J. Math. Educ.*, 13(2), 162–170. <https://doi.org/10.15294/zcd07t20>
- Uwurukundo, M. S., Maniraho, J. F., & Tusiime, M. (2022). Effects of GeoGebra on Students' Attitudes towards Learning Geometry: A Review of Literature. *African Journal of Educational Studies in Mathematics and Sciences*, 17(2), 127–138. <https://doi.org/10.4314/ajesms.v17i2.10>
- Yerizon, Y., Arnawa, I. M., Fitriani, N., & Tajudin, N. M. (2022). Constructing Calculus Concepts through Worksheet Based Problem-Based Learning Assisted by GeoGebra Software. *Hightech and Innovation Journal*, 3(3), 282–296. <https://doi.org/10.28991/hij-2022-03-03-04>