

MODEL PEMBELAJARAN MATEMATIKA SMA DENGAN GEOGEBRA**Hedi ¹⁾, Anie Lusian ²⁾, Agus Binarto ³⁾, Sri Nur Yuliyawati ***¹Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung²Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung³Jurusan Teknik Listrik, Politeknik Negeri Bandung³Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri BandungEmail : srinuryuli@polban.ac.id***Abstrak**

Matematika sering dianggap sulit oleh siswa karena bersifat abstrak dan membutuhkan pemahaman konsep yang mendalam. Materi geometri, transformasi geometri, trigonometri, dan kalkulus kerap menjadi tantangan karena melibatkan representasi spasial yang kompleks. Penggunaan *GeoGebra* dapat membantu memvisualisasikan konsep-konsep tersebut secara interaktif dan dinamis sehingga mempermudah pemahaman serta meningkatkan motivasi belajar siswa. Namun demikian, banyak guru masih memiliki keterbatasan dalam penguasaan teknologi pembelajaran sehingga proses pembelajaran cenderung masih bersifat tradisional. Oleh karena itu, diperlukan pelatihan untuk mengintegrasikan *GeoGebra* dalam pembelajaran matematika agar lebih menarik, efektif, dan sesuai dengan karakteristik siswa saat ini. Kegiatan pengabdian ini bertujuan untuk meningkatkan kompetensi guru dalam menggunakan *GeoGebra* sebagai media pembelajaran interaktif. Pelatihan diikuti oleh 40 guru anggota MGMP Matematika SMA Kabupaten Bandung Barat. Pelaksanaan pelatihan mencakup instalasi perangkat lunak, pengenalan fitur utama, serta penerapan *GeoGebra* dalam menjelaskan konsep dan menyelesaikan masalah matematika. Evaluasi kegiatan dilakukan melalui *pretest* dan *post-assessment*. Hasil analisis *N-Gain* menunjukkan peningkatan kemampuan guru dalam kategori sedang hingga tinggi. Hal ini membuktikan bahwa pelatihan *GeoGebra* efektif dalam meningkatkan kemampuan guru menampilkan konsep dan penerapan matematika secara lebih jelas, menarik, serta mendorong pembelajaran yang lebih eksploratif dan interaktif.

Kata kunci: *GeoGebra*, pembelajaran matematika, visualisasi, model pembelajaran

Abstract

Mathematics is often perceived as a difficult subject by students because it is abstract and requires a deep understanding of concepts. Topics such as geometry, geometric transformations, trigonometry, and calculus frequently pose challenges due to their complex spatial representations. The use of GeoGebra can assist in visualizing these concepts interactively and dynamically, thereby facilitating comprehension and enhancing students' learning motivation. However, many teachers still have limited mastery of educational technology, resulting in a predominantly traditional teaching process. Therefore, training is needed to integrate GeoGebra into mathematics instruction to make learning more engaging, effective, and aligned with students' current learning characteristics. This community service program aims to improve teachers' competencies in using GeoGebra as an interactive learning medium. The training was attended by 40 high school mathematics teachers who are members of the MGMP (Mathematics Teacher Working Group) in West Bandung Regency. The activities included software installation, introduction to main features, and the application of GeoGebra in explaining concepts and solving mathematical problems. Evaluation was conducted through pre-tests and post-assessments. The N-Gain analysis results indicated an improvement in

teachers' skills within the medium to high categories. These findings demonstrate that GeoGebra training effectively enhances teachers' ability to present mathematical concepts and applications more clearly and attractively, promoting exploratory and interactive learning.

Keywords: *GeoGebra, mathematics learning, visualization, learning model*

1. PENDAHULUAN

Matematika merupakan satu di antara mata pelajaran yang sering dianggap sulit dan kurang diminati oleh sebagian besar siswa. Kesulitan ini umumnya disebabkan oleh sifat materi yang abstrak, menuntut pemahaman konsep yang kuat, serta kemampuan berpikir logis dan analitis dalam menyelesaikan soal (Fritz, Haase, and Räsänen 2019) (Widia et al. 2024). Banyak siswa merasa kesulitan dalam memahami konsep-konsep yang tidak dapat mereka bayangkan secara konkret sehingga mereka cenderung menghafal rumus tanpa memahami maknanya. Akibatnya, ketika dihadapkan pada soal yang membutuhkan pemahaman konsep, mereka mengalami kesulitan dalam menyelesaikannya (Wahab A et al. 2024).

Berdasarkan jajak pendapat dengan guru-guru yang tergabung dalam MGMP Matematika SMA Kabupaten Bandung Barat, beberapa materi yang paling sulit dipahami oleh siswa antara lain geometri ruang. Kesulitan ini terjadi karena materi-materi tersebut sering melibatkan representasi spasial yang kompleks, hubungan antarobjek dalam ruang tiga dimensi, serta konsep yang memerlukan pemahaman mendalam tentang perbandingan dan transformasi. Dimensi tiga, misalnya, memerlukan kemampuan visualisasi untuk memahami posisi titik, garis, dan bidang dalam ruang, yang sering kali sulit bagi siswa yang terbiasa berpikir dalam dua dimensi (Silmi Juman et al. 2022). Selanjutnya trigonometri, yang menuntut pemahaman tentang hubungan sudut dan panjang sisi dalam segitiga, serta penerapannya dalam persoalan geometri (Obeng et al. 2024).

Menyadari tantangan tersebut, diperlukan upaya inovatif untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran matematika, terutama dalam menyajikan materi secara lebih konkret dan mudah dipahami (Tali Wangge and Bela 2025). Seiring perkembangan teknologi dan perubahan karakteristik siswa di era digital, guru perlu menguasai media pembelajaran berbasis teknologi. Teknologi komputer telah memberikan banyak manfaat dalam pendidikan, termasuk dalam pembelajaran matematika (Engelbrecht and Borba 2024). GeoGebra adalah salah satu *software* yang efektif dalam membantu siswa memahami konsep matematika dengan lebih cepat dan interaktif (Chytas et al. 2024). Siswa yang belajar dengan GeoGebra menunjukkan pemahaman lebih baik terhadap konsep matematika dibandingkan dengan metode tradisional (Hedi et al. 2023).

Melalui GeoGebra memungkinkan pemodelan geometri bidang dan ruang secara interaktif, termasuk pengubahan bentuk dan posisi bidang secara *real-time*. Misalnya, konsep geometri seperti menentukan jarak titik ke bidang, serta jarak antara dua bidang, dapat divisualisasikan dengan jelas sehingga lebih mudah dipahami oleh siswa (Ziatdinov and Valles 2022). Kemampuan animasi dinamis pada GeoGebra juga dapat digunakan untuk memperlihatkan transformasi geometri, seperti rotasi, translasi, dan refleksi, yang membantu siswa memahami hubungan spasial secara lebih konkret (Turgut 2022). GeoGebra juga memfasilitasi eksplorasi fungsi aljabar dan grafik secara interaktif. Dengan menggunakan parameter slider, siswa dapat melihat bagaimana perubahan parameter mempengaruhi bentuk grafik secara langsung sehingga mereka dapat mengeksplorasi sifat-sifat fungsi secara lebih intuitif (Pfeiffer, Ndlovu, and Oladele 2025). Selain itu, visualisasi dinamis ini membantu dalam memahami konsep turunan sebagai kemiringan garis singgung dan

konsep integral sebagai luas daerah di bawah kurva (Bekene Bedada and Machaba 2022)(Adamu and Umar 2023).

Dari pengamatan awal terungkap bahwa sebagian besar guru MGMP Matematika SMA Kabupaten Bandung Barat masih memiliki keterbatasan dalam penguasaan teknologi pembelajaran. Proses pembelajaran yang dilakukan umumnya masih bersifat konvensional, berpusat pada guru, dan minim pemanfaatan media interaktif. Kondisi ini menyebabkan pembelajaran matematika kurang menarik dan kurang mendorong partisipasi aktif siswa. Oleh karena itu, diperlukan pelatihan untuk meningkatkan kemampuan guru dalam mengintegrasikan GeoGebra ke dalam kegiatan belajar mengajar.

Kegiatan pelatihan ini bertujuan untuk meningkatkan kompetensi guru dalam menggunakan GeoGebra sebagai media pembelajaran interaktif pada mata pelajaran matematika di tingkat SMA. Melalui pelatihan ini, guru diharapkan mampu merancang dan mengimplementasikan model pembelajaran berbasis teknologi yang lebih eksploratif, kontekstual, dan sesuai dengan karakteristik siswa saat ini. Dengan demikian, penerapan GeoGebra diharapkan dapat menjadi solusi efektif untuk meningkatkan kualitas pembelajaran matematika di sekolah dan menjadikan matematika sebagai mata pelajaran yang lebih menarik, menantang, dan menyenangkan bagi siswa.

2. METODE PELAKSANAAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang meliputi pembuatan modul tutorial, pelatihan, dan evaluasi. Setiap tahap dirancang secara sistematis untuk mencapai tujuan peningkatan kompetensi guru SMA dalam memanfaatkan perangkat lunak GeoGebra sebagai media pembelajaran matematika interaktif.

Pembuatan Modul Tutorial

Kegiatan PKM ini, dimulai dengan pembuatan modul tutorial "Model Pembelajaran Matematika SMA Menggunakan GeoGebra" (dalam bentuk cetak) meliputi pengembangan bahan ajar yaitu geometri bidang dan ruang (dengan fokus pada visualisasi bangun dimensi tiga, teknik membuka dan menutup bangun, pemisahan komponen bangun, rotasi dan pergerakan ruas garis, serta eksplorasi sifat-sifat geometris), geometri transformasi (meliputi translasi, rotasi, refleksi, dilatasi, dan aplikasinya dalam pemecahan masalah), trigonometri (yang meliputi visualisasi dinamis fungsi trigonometri, dan aplikasi trigonometri), serta kalkulus (dengan bahasan konsep limit, visualisasi turunan, aplikasi turunan, integral dan interpretasi geometrisnya), dimana setiap modul dilengkapi dengan komponen pendukung berupa petunjuk penggunaan GeoGebra, langkah-langkah pembelajaran terstruktur, contoh-contoh aplikatif, latihan terbimbing, dan evaluasi pemahaman untuk memastikan efektivitas proses belajar mengajar.

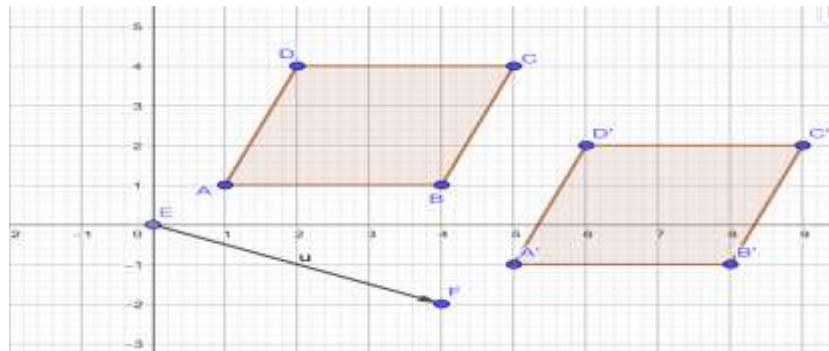
Berikutnya dipaparkan beberapa contoh yang termuat dalam modul tutorial sebagai ilustrasi penerapan materi yang telah dijelaskan sebelumnya. Setiap contoh dirancang untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai konsep, prosedur, dan teknik yang dibahas sehingga peserta dapat menguasai keterampilan yang diperlukan secara bertahap dan kontekstual. Dengan demikian, contoh-contoh tersebut tidak hanya berfungsi sebagai latihan, tetapi juga sebagai sarana refleksi dan penguatan pemahaman.

Contoh 1: Pelatihan Geometri Transformasi dengan GeoGebra

Buatlah trapesium ABCD dengan titik-titik $A(1,1)$, $B(4,1)$, $C(5,4)$, dan $D(2,4)$. Tentukan bayangan trapesium ABCD jika ditranslasikan dengan vektor $\vec{v} = (4, -2)$!

Langkah-langkah Penyelesaian

1. Buat titik A, B, C, dan D dengan cara klik *Point Tool* kemudian klik pada jendela kerja sesuai dengan koordinat titik yang diketahui.
2. Hubungkan keempat titik tersebut menggunakan *Polygon Tool* untuk membentuk trapesium ABCD.
3. Klik ikon *Vector Tool*, lalu buat vektor translasi $\vec{v} = (4, -2)$.
4. Klik ikon *Translate by Vector*.
5. Klik trapesium ABCD yang akan ditranslasi.
6. Klik vektor \vec{u} yang telah dibuat. Maka akan muncul bayangan trapesium, yaitu hasil translasi oleh vektor $(4, -2)$.



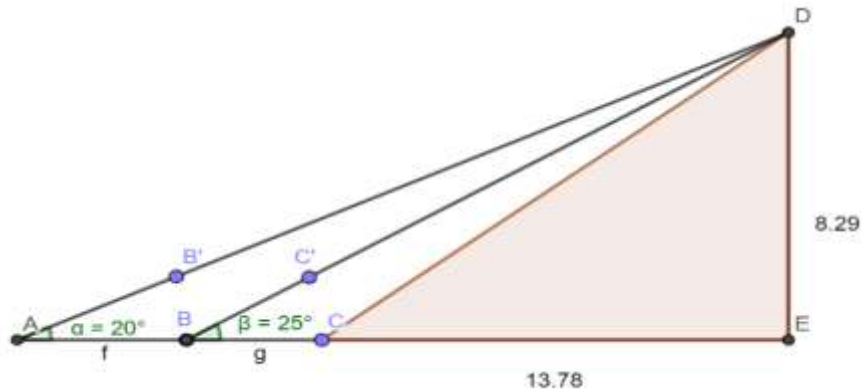
Gambar 1 Bayangan Trapesium oleh Translasi $(4, -2)$

Contoh 2: Aplikasi Trigonometri dengan GeoGebra

Seorang pengamat yang berdiri 400 kaki dari kaki gunung mengukur sudut elevasi dari tanah ke puncak gunung sebesar 25° . Kemudian, orang tersebut berjalan mundur sejauh 500 kaki secara lurus menjauh dari gunung, dan mengukur kembali sudut elevasi, yang kini menjadi 20° . Berapakah tinggi gunung tersebut (Corral, n.d. 2009)?

Langkah penyelesaian dengan bantuan grafik GeoGebra sebagai berikut.

- Klik *Segmen with Given Length* , Klik jendela grafik kemudian ketik 5 (mewakili 500) didapat segmen AB dengan panjang 5 satuan. Selanjutnya, dengan cara yang sama buat segmen BC dengan panjang 4 satuan.
- Klik *Angle with Given Size* kemudian klik titik B-A ketik sudut 20° , dengan cara yang sama buat 25° dititik B. Hubungkan dengan klik garis melalui AB' dan BC' dan AC. tetukan titik potongnya titik D. Buat garis melalui D tegak lurus di E
- Gambarkan ruas DE untuk merepresentasikan tinggi h, dan ruas CE untuk merepresentasikan panjang x (Lihat Gambar 1)



Gambar 2 Menghitung Tinggi Gunung dengan GeoGebra

Pelatihan Model Pembelajaran

Pada tahap ini, kegiatan diawali dengan pembukaan oleh Ketua MGMP SMA Matematika Kabupaten Bandung Barat (KBB) (Gambar 3). Pembukaan tersebut bertujuan untuk memberikan pengantar mengenai pentingnya peningkatan kompetensi guru dalam pemanfaatan teknologi pembelajaran berbasis digital, khususnya penggunaan perangkat lunak GeoGebra dalam pengajaran matematika.



Gambar 3 Pembukaan Pelatihan GeoGebra sebagai Media Pembelajaran Interaktif Pelajaran Matematika SMA

Setelah sesi pembukaan, kegiatan dilanjutkan dengan penyampaian agenda dan tujuan pelatihan oleh Ketua Tim Pengabdian (Gambar 4). Sesi ini mencakup penjelasan mengenai alur kegiatan, materi yang akan disampaikan, serta capaian pembelajaran yang diharapkan dari setiap tahapan pelatihan.



Gambar 4 Penyampaian Agenda dan Tujuan Pelatihan

Tahap berikutnya adalah *pre-assessment*, yang bertujuan untuk mengukur kemampuan awal peserta dalam memahami konsep dan penggunaan GeoGebra. Instrumen yang digunakan berupa kuesioner *pretest* yang dirancang untuk mengevaluasi pengetahuan awal guru terhadap fitur-fitur dasar GeoGebra, pengalaman sebelumnya dalam menggunakan perangkat lunak matematika, serta tingkat kesiapan mengikuti pelatihan. Data hasil *pre-assessment* digunakan sebagai dasar untuk menyesuaikan strategi pelatihan dan menentukan tingkat kedalaman materi yang akan diberikan pada sesi berikutnya. Dengan demikian, tahap ini berperan penting dalam memastikan pelaksanaan pelatihan berlangsung efektif, terarah, dan sesuai dengan kebutuhan aktual peserta.

Pelatihan dilaksanakan secara tutorial dan praktik langsung. Setiap sesi diawali dengan penjelasan konsep oleh tim pengabdian dilanjutkan dengan demonstrasi langkah-langkah penggunaan fitur GeoGebra, seperti konstruksi geometri dinamis, visualisasi Transformasi Geometri, konsep aljabar serta kalkulus. Selanjutnya, peserta diberi kesempatan untuk mengerjakan latihan mandiri dan berbasis proyek sederhana sehingga mereka dapat mengaplikasikan pengetahuan yang diperoleh pada konteks pembelajaran di kelas. Selain itu, dilakukan diskusi interaktif dan tanya jawab untuk memperdalam pemahaman peserta terhadap kesulitan yang dihadapi selama praktik. Tim pengabdian berperan sebagai fasilitator yang memberikan umpan balik dan solusi terhadap kendala teknis maupun konseptual yang muncul.

Evaluasi Hasil Pelatihan

Setiap kegiatan diawali dengan *pre-assessment* melalui praktik langsung menggunakan modul yang telah disiapkan oleh tim pelaksana. Sebelum pelaksanaan *post-assessment*, tim terlebih dahulu mempraktikkan langkah-langkah penggunaan modul sebagai contoh bagi peserta. Selanjutnya, *post-assessment* dilakukan dengan memantau jumlah peserta yang mampu mempraktikkan kembali materi pelatihan secara mandiri. Kegiatan ini bertujuan untuk mengevaluasi perkembangan pemahaman dan keterampilan peserta setelah mengikuti pelatihan. Hasil *pretest* dan *posttest* kemudian dibandingkan untuk menentukan tingkat peningkatan kompetensi guru dalam penggunaan GeoGebra sebagai media pembelajaran. Tingkat peningkatan tersebut dihitung menggunakan skor N-Gain (Hake, 1998) (Nissen et al. 2018) dengan rumus sebagai berikut:

$$N\text{-Gain} = \frac{X - Y}{M - X}$$

di mana:

X = Skor Pretest

Y = Skor Posttest

M = Skor Maksimum

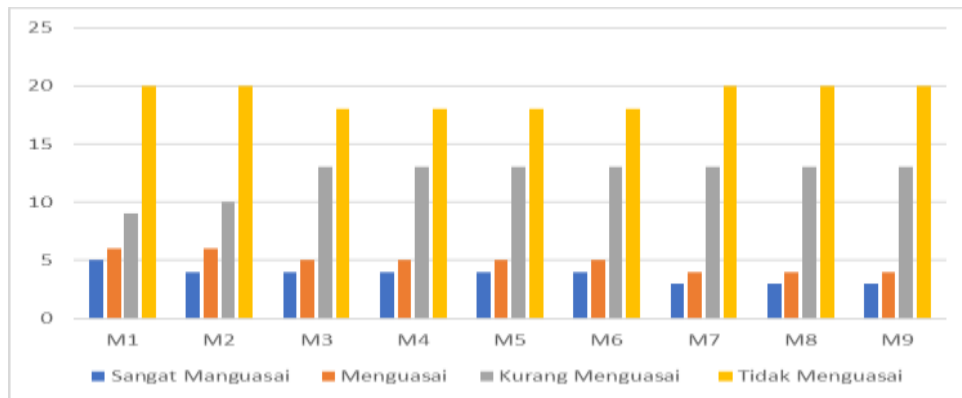
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Program pelatihan GeoGebra bagi guru yang tergabung dalam MGMP SMA Kabupaten Bandung Barat (KBB) diikuti oleh 40 peserta, yang terdiri atas 30 orang berpendidikan S1 dan 10 orang berpendidikan S2. Peserta merupakan guru matematika dari berbagai SMA di wilayah KBB yang memiliki latar belakang dan tingkat pengalaman penggunaan teknologi pembelajaran yang beragam.

Sebelum pelatihan dimulai, peserta mengikuti *pretest* untuk mengukur kemampuan awal dalam memahami konsep matematika yang akan diajarkan menggunakan GeoGebra. Materi *pretest* mencakup sembilan materi utama, yaitu:

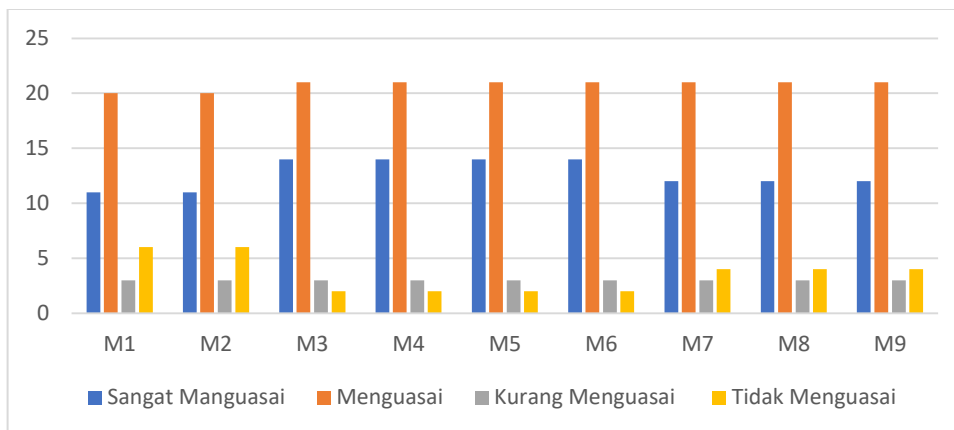
- Materi 1: Aplikasi Trigonometri
- Materi 2: Menentukan jarak pada dimensi dua dan tiga
- Materi 3: Translasi
- Materi 4: Refleksi
- Materi 5: Rotasi
- Materi 6: Dilatasi
- Materi 7: Definisi Limit
- Materi 8: Definisi Turunan
- Materi 9: Aplikasi Turunan

Hasil *pretest* peserta disajikan pada Gambar 5 yang menunjukkan variasi kemampuan awal guru dalam memahami konsep matematika dan penggunaan GeoGebra. Secara umum, sebagian besar peserta masih berada pada tingkat pemahaman dasar.



Gambar 5 Hasil Pretes 40 Peserta Pelatihan Materi1 s.d. 9

Setelah pelatihan selesai, peserta mengikuti *posttest* dalam bentuk tes praktik untuk mengukur peningkatan kemampuan dalam mengoperasikan GeoGebra serta menerapkannya dalam pembelajaran matematika. Hasil *posttest* peserta ditampilkan pada Gambar 6 yang memperlihatkan peningkatan skor yang cukup signifikan dibandingkan hasil *pretest*.



Gambar 6 Hasil Postes 40 Peserta Pelatihan Materi 1 s.d. 9
Tabel 1 N-Gain Hasil Pretes dan Postes

Bahan Kajian	Pretes	Postes	N-Gain
M1: Aplikasi Trigonometri	11	31	69%
M2: Menentukan jarak pada dimensi dua dan tiga	10	31	70%
M3: Translasi	9	35	84%
M4: Refleksi	9	35	84%
M5: Rotasi	9	35	84%
M6: Dilatasi	9	35	84%
M7: Definisi Limit	7	33	79%
M8: Definisi Turunan	7	33	79%
M9: Aplikasi Turunan	7	33	79%

Berdasarkan hasil analisis terhadap nilai *pretest* dan *posttest* yang tertera pada Tabel 1, diperoleh skor N-Gain peserta pelatihan yang menunjukkan adanya peningkatan kemampuan guru dalam menggunakan GeoGebra sebagai media pembelajaran matematika. Nilai rata-rata N-Gain yang diperoleh termasuk dalam kategori sedang hingga tinggi, yang mengindikasikan bahwa pelatihan berhasil meningkatkan kompetensi peserta secara signifikan.

Peningkatan ini menunjukkan bahwa pendekatan pelatihan berbasis praktik langsung dan pendampingan interaktif, efektif dalam membantu guru memahami fungsi-fungsi utama GeoGebra serta menerapkannya dalam konteks pembelajaran. Peserta yang pada awalnya hanya memiliki pemahaman dasar terhadap perangkat lunak tersebut, setelah mengikuti pelatihan mampu mengintegrasikan GeoGebra ke dalam aktivitas pembelajaran, seperti pembuatan grafik fungsi, visualisasi geometri, serta eksplorasi konsep aljabar secara dinamis. Selain itu, hasil observasi selama kegiatan menunjukkan peningkatan kemandirian dan partisipasi aktif peserta, terutama dalam sesi praktik dan diskusi kelompok. Hal ini selaras dengan temuan Hake (1998) yang menyatakan bahwa pembelajaran berbasis interaksi dan eksplorasi langsung dapat menghasilkan *normalized gain* yang lebih tinggi dibandingkan pendekatan konvensional.

4. KESIMPULAN

Pelatihan GeoGebra yang diselenggarakan bagi 40 guru matematika SMA yang tergabung dalam MGMP Kabupaten Bandung Barat (KBB) telah terbukti efektif dalam meningkatkan kompetensi guru dalam penggunaan teknologi pembelajaran. Berdasarkan hasil *pretest* dan *posttest*, sebanyak 80% peserta menunjukkan peningkatan signifikan dalam menguasai perangkat lunak GeoGebra serta mampu mengaplikasikannya untuk mengembangkan model pembelajaran matematika yang lebih interaktif dan visual.

Selain peningkatan keterampilan teknis, kegiatan ini juga mendorong terbentuknya komunitas belajar guru dalam lingkungan MGMP yang berfokus pada pengembangan inovasi pembelajaran berbasis teknologi digital. Dengan demikian, pelatihan ini tidak hanya berdampak pada peningkatan kemampuan individu, tetapi juga memperkuat kolaborasi antarguru sebagai bagian dari pengembangan profesional berkelanjutan.

Secara keseluruhan, hasil N-Gain dan data observasi memperlihatkan bahwa kegiatan pelatihan tidak hanya meningkatkan keterampilan teknis, tetapi juga menumbuhkan motivasi dan kesiapan guru untuk berinovasi dalam pembelajaran berbasis teknologi. Dengan demikian, pelatihan ini dapat dikategorikan efektif dalam meningkatkan kompetensi pedagogik dan profesional guru dalam pemanfaatan GeoGebra.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamu, I, and S Umar. 2023. "Effect of GeoGebra Computer Package on Performance in Concept Integral Calculus among Colleges of Education Students in Borno State." *Researchgate.Net*, no. September. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8383578>.
- Bekene Bedada, Tola, and M. F. Machaba. 2022. "The Effect of GeoGebra on Students' Abilities to Study Calculus." *Education Research International* 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/4400024>.
- Chytas, Christos, Sylvia Patricia van Borkulo, Paul Drijvers, Erik Barendsen, and Jos L. J. Tolboom. 2024. "Computational Thinking in Secondary Mathematics Education with GeoGebra: Insights from an Intervention in Calculus Lessons." *Digital Experiences in Mathematics Education* 10 (2): 228–59. <https://doi.org/10.1007/s40751-024-00141-0>.
- Corral, Michael. n.d.2009, Trigonometry "Michael Corral."
- Engelbrecht, Johann, and Marcelo C. Borba. 2024. "Recent Developments in Using Digital Technology in Mathematics Education." *ZDM - Mathematics Education* 56 (2): 281–92. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01530-2>.
- Fritz, Annemarie, Vitor Geraldi Haase, and Pekka Räsänen. 2019. *International Handbook of Mathematical Learning Difficulties: From the Laboratory to the Classroom. International Handbook of Mathematical Learning Difficulties: From the Laboratory to the Classroom*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-97148-3>.
- Hedi, Hedi, Ahmad Deni Mulyadi, Anny Suryani, Agus Binarto, and Farida Agoes. 2023. "The

- Development of Two - Variable Function Derivative Learning Using GeoGebra” 6 (3): 237–42.
- Nissen, Jayson M., Robert M. Talbot, Amreen Nasim Thompson, and Ben Van Dusen. 2018. “Comparison of Normalized Gain and Cohen’s d for Analyzing Gains on Concept Inventories.” *Physical Review Physics Education Research* 14 (1): 10115. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010115>.
- Obeng, Benjamin Adu, Gideon Mensah Banson, Ebenezer Owusu, and Raphael Owusu. 2024. “Analysis of Senior High School Students’ Errors in Solving Trigonometry.” *Cogent Education* 11 (1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2385119>.
- Pfeiffer, Cerenus, Mdutshekela Ndlovu, and Jumoke I Oladele. 2025. “The Use of Geogebra to Develop Mathematical Knowledge of Transformations in Functions and Graphs” 0141 (1): 157–70.
- Silmi Juman, Zeinul Abdeen M., M Mathavan, Amila Sudu Ambedgara, and Indika G.K. Udagedara. 2022. “Difficulties in Learning Geometry Component in Mathematics and Active-Based Learning Methods to Overcome the Difficulties.” *Shanlax International Journal of Education* 10 (2): 41–58. <https://doi.org/10.34293/education.v10i2.4299>.
- Tali Wangge, Maria Carmelita, and Maria Editha Bela. 2025. “Enhancing Students’ Algebraic Numeracy through the Development of a Concrete Algebra Box: R&D Study in Indonesian Secondary Education.” *Al-Jabar : Jurnal Pendidikan Matematika* 16 (1): 305–14. <https://doi.org/10.24042/ajpm.v16i1.27390>.
- Turgut, Melih. 2022. “Reinventing Geometric Linear Transformations in a Dynamic Geometry Environment: Multimodal Analysis of Student Reasoning.” *International Journal of Science and Mathematics Education* 20 (6): 1203–23. <https://doi.org/10.1007/s10763-021-10185-y>.
- Wahab A, Abdul, Yaya S Kusuma, Dadang Juandi, Turmudi Turmudi, Buhaerah Buhaerah, and Syaiful Syaiful. 2024. “Understanding Students’ Struggles in Solving Mathematical Problems: A Systematic Literature Review Using Polya’s Framework.” *Jurnal Pendidikan Progresif* 14 (3): 1728–53. <https://doi.org/10.23960/jpp.v14.i3.2024118>.
- Widia, Y, K R A Kurniawati, H R P Negara, and ... 2024. “Analysis of the Teacher’s Role in Facilitating Active Student Engagement in Problem-Based Learning in Mathematics Classrooms.” ... , and *Technology*, 550–61. <https://journal.ummat.ac.id/index.php/issrectec/article/view/22361>.
- Ziatdinov, R, and J R Valles. 2022. “Synthesis of Modeling, Visualization, and Programming in GeoGebra as an Effective Approach For.” *Teaching and Learning STEM Topics. Mathematics* 10 (3): 398.