

Meningkatkan Kemampuan Pemahaman Kalkulus Turunan Berbantuan Geogebra

Torang Siregar

UIN Syekh Ali Hasan Ahmad Addary Padangsidempuan, Jl. Tengku Rizal Nurdin, Padangsidempuan, 22730, Indonesia

*Penulis Korespondensi: torangsir@uinsyahada.ac.id

(Diterima 5 Maret, Disetujui 14 Maret 2026, Tersedia Online 31 Maret 2026)

Abstract: This study aims to improve the understanding of derivative calculus concepts among eleventh-grade science students at SMA Negeri 2 Padangsidempuan through the use of GeoGebra software. The research employed a quantitative method with a comparative approach, analyzing the learning outcomes of 64 students from two classes (MIPA-1 and MIPA-2) during the odd semester of the 2025/2026 academic year. Data were collected through test scores before (pretest) and after (posttest) the implementation of GeoGebra-assisted learning. The results indicated a significant improvement in students' understanding, with the average score increasing by 12.5 percent. Furthermore, a paired sample t-test revealed a statistically significant difference between the pretest and posttest scores, with a positive correlation of 0.78. This finding suggests that GeoGebra is an effective tool for enhancing students' comprehension of derivative calculus, particularly in visualizing abstract concepts and improving computational accuracy.

Keywords: GeoGebra; Derivative Calculus; Mathematical Understanding; High School; Technology-Assisted Learning

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan pemahaman konsep kalkulus turunan pada siswa kelas XI MIPA di SMA Negeri 2 Padangsidempuan melalui penggunaan software GeoGebra. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan komparatif, menganalisis hasil belajar 64 siswa dari dua rombel (MIPA-1 dan MIPA-2) pada semester ganjil tahun pelajaran 2025/2026. Data dikumpulkan melalui nilai tes sebelum (pretest) dan sesudah (*posttest*) penerapan pembelajaran berbantuan GeoGebra. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan pemahaman siswa yang signifikan, dengan nilai rata-rata kelas meningkat sebesar 12,5 persen. Selain itu, uji-t sampel berpasangan menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik antara nilai pretest dan posttest, dengan korelasi positif sebesar 0,78. Temuan ini mengindikasikan bahwa GeoGebra merupakan alat bantu yang efektif dalam meningkatkan pemahaman siswa tentang kalkulus turunan, terutama dalam memvisualisasikan konsep abstrak dan meningkatkan ketepatan komputasi.

Kata Kunci: GeoGebra; Kalkulus Turunan; Pemahaman Matematika; SMA; Pembelajaran Berbantuan Teknologi

1. Pendahuluan

Kalkulus turunan merupakan salah satu materi fundamental dalam matematika di tingkat Sekolah Menengah Atas (SMA), khususnya pada peminatan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA). Materi ini menjadi dasar bagi konsep-konsep matematika lanjutan dan aplikasinya dalam berbagai bidang, seperti fisika, ekonomi, dan teknik. Pemahaman yang kuat tentang turunan fungsi, termasuk konsep limit, gradien garis singgung, dan optimalisasi fungsi, sangat krusial bagi kesuksesan akademis siswa di masa depan [20].

Namun demikian, realitas di lapangan menunjukkan bahwa sebagian besar siswa masih mengalami kesulitan yang signifikan dalam memahami konsep-konsep dasar kalkulus turunan. Kesulitan ini tidak hanya bersumber dari kompleksitas materi itu sendiri, tetapi juga dari pendekatan pembelajaran yang cenderung abstrak dan kurang kontekstual. Banyak siswa yang hanya mampu menghafal rumus tanpa benar-benar memahami makna di balik simbol-

simbol matematika yang digunakan. Akibatnya, ketika dihadapkan pada soal-soal aplikatif yang memerlukan penalaran tingkat tinggi, mereka sering kali merasa kebingungan dan tidak mampu menyelesaikannya dengan tepat [21]. Hal ini diperparah dengan minimnya penggunaan media pembelajaran yang dapat membantu memvisualisasikan konsep-konsep abstrak tersebut. Dalam banyak kasus, proses pembelajaran masih didominasi oleh metode ceramah dan pengerjaan soal secara manual yang monoton. Kondisi ini tentu saja berdampak negatif terhadap motivasi belajar siswa dan hasil akademik mereka secara keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan suatu inovasi dalam strategi pembelajaran yang mampu menjembatani kesenjangan antara konsep abstrak dan pemahaman konkret siswa [22].

Salah satu inovasi yang potensial untuk diterapkan adalah pemanfaatan teknologi informasi, khususnya perangkat lunak matematika dinamis seperti GeoGebra. GeoGebra merupakan software yang dirancang khusus untuk mendukung proses pembelajaran matematika dengan menggabungkan fitur geometri dinamis, aljabar, dan kalkulus dalam satu platform yang terintegrasi [1–2]. Keunggulan utama GeoGebra terletak pada kemampuannya untuk menyajikan representasi visual dari konsep-konsep matematika yang abstrak, sehingga siswa dapat mengamati secara langsung bagaimana perubahan pada suatu fungsi memengaruhi grafik dan turunannya. Software ini juga dilengkapi dengan fitur interaktif yang memungkinkan siswa untuk melakukan eksplorasi mandiri, mengubah parameter, dan melihat dampaknya secara real-time [20–21]. Dengan demikian, proses pembelajaran tidak lagi bersifat satu arah, melainkan menjadi lebih partisipatif dan berpusat pada siswa. Selain itu, GeoGebra mudah diakses karena bersifat open-source dan dapat diinstal pada berbagai perangkat, mulai dari komputer hingga smartphone. Hal ini menjadikannya sebagai alat bantu yang sangat praktis dan ekonomis untuk diterapkan di lingkungan sekolah dengan keterbatasan sumber daya. Dengan segala kelebihanannya, GeoGebra memiliki potensi besar untuk mengubah paradigma pembelajaran kalkulus dari yang semula dianggap sulit dan membosankan menjadi lebih menarik dan mudah dipahami [22–23].

Penerapan GeoGebra dalam pembelajaran kalkulus turunan diharapkan dapat memberikan dampak positif yang signifikan terhadap peningkatan pemahaman konseptual siswa. Ketika siswa dapat melihat secara visual bagaimana garis singgung berubah seiring dengan pergerakan titik pada kurva, pemahaman mereka tentang definisi turunan sebagai limit gradien garis singgung akan semakin kokoh. Mereka juga dapat dengan mudah memahami hubungan antara fungsi asal dan fungsi turunannya, misalnya bagaimana gradien fungsi kuadrat menghasilkan fungsi linear [3]. Selain itu, GeoGebra memungkinkan siswa untuk memeriksa kebenaran hasil perhitungan manual mereka dengan cepat dan akurat, sehingga mereka dapat mengidentifikasi letak kesalahan dan belajar dari proses tersebut. Proses trial and error yang difasilitasi oleh GeoGebra juga mendorong siswa untuk berpikir kritis dan analitis dalam memecahkan masalah. Tidak hanya itu, penggunaan software ini juga dapat meningkatkan efisiensi waktu pembelajaran, karena siswa tidak perlu menghabiskan banyak waktu untuk menggambar grafik secara manual. Dengan waktu yang lebih tersedia, guru dapat memfokuskan perhatian pada pembahasan konsep-konsep yang lebih mendalam dan aplikasinya dalam kehidupan nyata. Dengan demikian, integrasi GeoGebra dalam pembelajaran tidak hanya meningkatkan

pemahaman, tetapi juga mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi yang sangat dibutuhkan di era digital ini [24].

Berbagai penelitian terdahulu telah membuktikan efektivitas penggunaan software matematika dalam meningkatkan kualitas pembelajaran [22] misalnya, dalam penelitiannya di Politeknik Negeri Bandung, menemukan bahwa penggunaan GeoGebra pada materi kalkulus turunan mampu meningkatkan nilai rata-rata mahasiswa hingga 10,07 persen dengan korelasi positif yang kuat. Penelitian serupa yang dilakukan oleh [23] juga menunjukkan bahwa pemanfaatan Sistem Komputer Aljabar (SKA) dalam perkuliahan kalkulus dapat meningkatkan motivasi dan prestasi belajar mahasiswa secara signifikan [23–24] dalam penelitiannya tentang pemanfaatan SKA pada perkuliahan Persamaan Diferensial juga sampai pada kesimpulan yang sama, bahwa teknologi dapat menjadi katalisator dalam peningkatan kualitas pembelajaran. Namun, sebagian besar penelitian tersebut dilakukan di lingkungan perguruan tinggi dengan subjek mahasiswa, sehingga masih terbatas bukti empiris mengenai efektivitasnya di tingkat SMA. Selain itu, software yang digunakan dalam penelitian-penelitian tersebut, seperti Maple dan Derive, cenderung mahal dan kompleks, sehingga kurang cocok untuk diterapkan di sekolah dengan keterbatasan infrastruktur. Oleh karena itu, penelitian tentang efektivitas GeoGebra di tingkat SMA menjadi sangat relevan dan mendesak untuk dilakukan, guna mengisi kekosongan kajian dan memberikan kontribusi nyata bagi peningkatan kualitas pendidikan matematika di Indonesia [4–5].

Di lapangan menunjukkan bahwa banyak siswa mengalami kesulitan dalam mempelajari kalkulus turunan. Berdasarkan observasi awal dan diskusi dengan guru matematika di SMA Negeri 2 Padangsidimpuan, ditemukan beberapa permasalahan utama. Pertama, siswa seringkali belum memahami konsep dasar turunan secara utuh dan cenderung menghafal rumus tanpa memahami maknanya. Kedua, siswa kurang teliti dalam melakukan komputasi dan perhitungan aljabar yang kompleks. Ketiga, siswa sulit memvisualisasikan hubungan antara suatu fungsi dan turunannya dalam bentuk grafik, padahal aspek geometris ini sangat penting untuk pemahaman yang mendalam. Akibatnya, hasil evaluasi belajar siswa pada materi turunan, seperti Penilaian Tengah Semester (PTS) dan Penilaian Akhir Semester (PAS) di tahun-tahun sebelumnya, seringkali belum mencapai Kriteria Ketuntasan Tujuan Pembelajaran (KKTP) yang ditetapkan sekolah [6].

Penelitian-penelitian terdahulu telah banyak mengkaji pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran matematika. [25–26] meneliti pemanfaatan Sistem Komputer Aljabar (SKA) dalam perkuliahan Kalkulus dan menyimpulkan bahwa SKA dapat meningkatkan motivasi dan prestasi belajar mahasiswa. [2–3] juga menemukan bahwa SKA dapat meningkatkan kualitas pembelajaran Persamaan Diferensial [7]. Namun, sebagian besar perangkat lunak yang digunakan sebelumnya seperti Maple, Mathematica, atau Derive bersifat berbayar dan relatif berat untuk dioperasikan, sehingga kurang terjangkau dan praktis untuk digunakan secara luas di lingkungan SMA.

Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada penggunaan *software* GeoGebra, yang bersifat gratis, ringan, dan mudah dioperasikan, sebagai alat bantu pembelajaran untuk mengatasi kesenjangan pemahaman siswa SMA pada materi kalkulus turunan. GeoGebra menggabungkan kemampuan *Dynamic Geometry Software* (DGS) dan *Computer Algebra Systems* (CAS), sehingga tidak hanya mampu melakukan perhitungan turunan secara cepat dan akurat, tetapi juga menampilkan visualisasi grafik fungsi dan turunannya secara dinamis. Hal ini diharapkan dapat membantu siswa mengatasi kesulitan komputasi sekaligus memahami konsep secara visual. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan kemampuan pemahaman kalkulus turunan siswa kelas XI MIPA di SMA Negeri 2 Padangsidimpuan antara sebelum dan sesudah penerapan pembelajaran berbantuan *software* GeoGebra [25].

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara empiris pengaruh penggunaan *software* GeoGebra terhadap peningkatan kemampuan pemahaman kalkulus turunan siswa SMA. Secara lebih spesifik, penelitian ini akan membandingkan hasil belajar siswa sebelum dan sesudah penerapan pembelajaran berbantuan GeoGebra pada materi turunan fungsi. Subjek penelitian adalah siswa kelas XI MIPA di SMA Negeri 2 Padangsidimpuan yang berjumlah 64 orang, terdiri dari dua rombongan belajar. Dengan menggunakan metode kuantitatif dan desain penelitian one-group pretest-posttest, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas tentang sejauh mana efektivitas GeoGebra dalam meningkatkan pemahaman siswa. Hasil penelitian ini nantinya tidak hanya bermanfaat bagi guru dan siswa di SMA Negeri 2 Padangsidimpuan, tetapi juga dapat menjadi referensi bagi sekolah-sekolah lain yang ingin mengadopsi teknologi serupa. Lebih jauh lagi, temuan dari penelitian ini diharapkan dapat memperkaya khazanah ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang pendidikan matematika dan pemanfaatan teknologi pembelajaran. Dengan demikian, penelitian ini memiliki urgensi yang tinggi baik dari aspek praktis maupun akademis.

2. Metode dan Eksperimen

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan desain komparatif (pra-eksperimental) yaitu *one-group pretest-posttest design*. Desain ini dipilih untuk membandingkan hasil belajar kelompok yang sama sebelum dan sesudah diberikan perlakuan berupa pembelajaran berbantuan *software* GeoGebra [33].

Subjek dan Data Penelitian: Subjek penelitian adalah seluruh siswa kelas XI MIPA di SMA Negeri 2 Padangsidimpuan pada semester ganjil Tahun Pelajaran 2025/2026, yang terdiri dari 2 rombongan belajar (rombel), yaitu XI MIPA-1 dan XI MIPA-2, dengan total 64 siswa. Data yang digunakan adalah data kuantitatif berupa nilai tes pemahaman kalkulus turunan. Tes pertama (*pretest*) dilaksanakan sebelum penerapan GeoGebra untuk mengukur kemampuan awal siswa. Tes kedua (*posttest*) dilaksanakan setelah serangkaian pembelajaran dengan bantuan GeoGebra untuk mengukur kemampuan akhir siswa.

Prosedur Penelitian:

1. **Tahap Awal (Analisis Kebutuhan):** Melakukan observasi dan wawancara dengan guru matematika untuk mengidentifikasi materi yang dianggap sulit oleh siswa, yaitu kalkulus turunan. Menyusun perangkat pembelajaran (Rencana Pelaksanaan Pembelajaran/RPP) dan bahan ajar manual.
2. **Tahap Perancangan:** Menyusun modul dan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) untuk materi turunan yang mengintegrasikan penggunaan *software* GeoGebra. Modul ini dirancang untuk membantu siswa mengeksplorasi konsep turunan secara visual dan komputasional.
3. **Tahap Implementasi:** Melaksanakan pembelajaran di kelas sesuai dengan RPP yang telah disusun. Pada tahap ini, siswa tidak hanya menerima penjelasan konsep dari guru, tetapi juga secara aktif menggunakan laptop/komputer yang telah terinstal GeoGebra untuk menyelesaikan soal-soal, memeriksa hasil perhitungan, dan mengamati perubahan grafik fungsi dan turunannya.
4. **Tahap Evaluasi:** Memberikan tes (*posttest*) kepada siswa untuk mengukur pemahaman mereka setelah perlakuan. Soal *posttest* memiliki tingkat kesulitan dan cakupan materi yang setara dengan soal *pretest*.

Analisis Data: Data dianalisis menggunakan metode statistika deskriptif dan inferensial. Secara deskriptif, dihitung rata-rata nilai *pretest* dan *posttest* serta persentase peningkatannya. Untuk menguji hipotesis, digunakan uji-t sampel berpasangan (*Paired Sample T-Test*) dengan bantuan *software* statistik. Hipotesis yang diajukan adalah:

1. H₀: Tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata nilai *pretest* dan *posttest* siswa (pembelajaran berbantuan GeoGebra tidak efektif).
2. H₁: Terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata nilai *pretest* dan *posttest* siswa (pembelajaran berbantuan GeoGebra efektif).

Sebelum uji-t, dilakukan uji prasyarat berupa uji normalitas data untuk memastikan data berdistribusi normal.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini melibatkan 64 siswa kelas XI MIPA SMA Negeri 2 Padangsidempuan. Setelah melaksanakan *pretest*, pembelajaran berbantuan GeoGebra, dan *posttest*, diperoleh data hasil belajar sebagai berikut:

Tabel 1. Statistik Deskriptif Nilai Pretest dan Posttest

Pengukuran	Jumlah Siswa (N)	Nilai Rata-rata	Standar Deviasi
<i>Pretest</i> (Tanpa GeoGebra)	64	65,50	12,30
<i>Posttest</i> (Dengan GeoGebra)	64	78,00	10,80

Berdasarkan Tabel 1, hasil analisis statistik deskriptif menunjukkan adanya peningkatan yang cukup berarti pada nilai rata-rata pemahaman kalkulus turunan siswa setelah mengikuti pembelajaran berbantuan software GeoGebra. Pada saat pretest yang dilaksanakan sebelum penerapan GeoGebra, nilai rata-rata siswa tercatat sebesar 65,50 dari total 64 responden. Nilai ini mencerminkan tingkat pemahaman awal siswa terhadap materi turunan yang masih tergolong sedang dan belum mencapai kriteria ketuntasan minimal yang diharapkan. Standar deviasi sebesar 12,30 pada pretest menunjukkan bahwa sebaran kemampuan awal siswa relatif beragam, dengan beberapa siswa memiliki nilai yang jauh di bawah rata-rata dan beberapa lainnya sudah cukup baik [20,21]. Keragaman ini mengindikasikan bahwa latar belakang pemahaman siswa terhadap materi prasyarat, seperti limit fungsi dan aljabar, memang bervariasi. Kondisi ini menjadi tantangan tersendiri bagi guru dalam merancang strategi pembelajaran yang dapat mengakomodasi kebutuhan seluruh siswa. Data pretest ini sekaligus menegaskan urgensi untuk melakukan intervensi pembelajaran yang lebih inovatif, mengingat masih banyaknya siswa yang mengalami kesulitan dalam memahami konsep dasar turunan. Dengan demikian, pretest tidak hanya berfungsi sebagai alat ukur awal, tetapi juga sebagai dasar pijakan untuk merancang perlakuan yang tepat dalam penelitian ini [19].

Setelah serangkaian pembelajaran dengan bantuan software GeoGebra dilaksanakan, nilai rata-rata posttest siswa meningkat menjadi 78,00, yang berarti terjadi kenaikan sebesar 12,5 poin atau sekitar 19,08 persen dari nilai awal. Peningkatan ini menunjukkan bahwa intervensi pembelajaran berbantuan GeoGebra memberikan dampak positif yang cukup signifikan terhadap pemahaman siswa pada materi kalkulus turunan [18]. Standar deviasi pada posttest tercatat sebesar 10,80, yang lebih kecil dibandingkan standar deviasi pada pretest. Penurunan nilai standar deviasi ini mengindikasikan bahwa sebaran nilai siswa menjadi lebih homogen setelah perlakuan, yang berarti bahwa siswa dengan kemampuan awal rendah berhasil mengejar ketertinggalan mereka dari siswa yang sudah memiliki pemahaman lebih baik. Hal ini menguatkan dugaan bahwa GeoGebra efektif dalam membantu siswa yang mengalami kesulitan belajar, karena visualisasi dan interaktivitas yang ditawarkan memudahkan mereka dalam memahami konsep-konsep abstrak [16–17]. Selain itu, kenaikan rata-rata yang cukup tajam juga mengindikasikan bahwa siswa secara umum merespons positif terhadap penggunaan teknologi dalam pembelajaran matematika. Temuan ini sejalan dengan teori konstruktivisme yang menekankan pentingnya peran alat bantu visual dalam membangun pemahaman konseptual. Dengan demikian, data statistik deskriptif ini secara jelas memperlihatkan bahwa pembelajaran berbantuan GeoGebra tidak hanya meningkatkan rata-rata nilai, tetapi juga membantu menciptakan pemerataan pemahaman di antara para siswa [14–15].

Tabel 2. Korelasi Sampel Berpasangan

Pasangan	N	Korelasi	Sig.
<i>Pretest & Posttest</i>	64	0,78	0,000

Tabel 2 menyajikan hasil analisis korelasi sampel berpasangan antara nilai pretest dan posttest dari 64 siswa kelas XI MIPA di SMA Negeri 2 Padangsidempuan. Nilai korelasi yang diperoleh adalah sebesar 0,78 dengan tingkat signifikansi 0,000. Angka korelasi sebesar 0,78 menunjukkan hubungan yang positif dan kuat antara kemampuan awal siswa sebelum menggunakan GeoGebra dan kemampuan mereka setelah mengikuti pembelajaran berbantuan software tersebut [24]. Dalam interpretasi koefisien korelasi, nilai yang mendekati 1 mengindikasikan bahwa siswa yang memiliki nilai pretest tinggi cenderung juga memperoleh nilai posttest yang tinggi, demikian pula sebaliknya. Hal ini berarti bahwa posisi relatif siswa dalam kelompoknya cenderung bertahan, meskipun secara keseluruhan nilai semua siswa mengalami peningkatan [25]. Korelasi yang kuat ini juga mengindikasikan bahwa instrumen tes yang digunakan memiliki konsistensi yang baik dalam mengukur konstruk yang sama, yaitu pemahaman kalkulus turunan. Selain itu, signifikansi statistik yang ditunjukkan oleh nilai Sig. 0,000 (jauh di bawah 0,05) mengonfirmasi bahwa korelasi ini bukan terjadi secara kebetulan, melainkan merupakan hubungan yang nyata dan bermakna secara statistik. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa terdapat konsistensi yang tinggi antara performa akademik siswa sebelum dan sesudah perlakuan, yang sekaligus menunjukkan bahwa peningkatan yang terjadi bersifat sistematis dan merata [26–27].

Lebih lanjut, nilai korelasi sebesar 0,78 juga memiliki implikasi penting dalam memahami efektivitas pembelajaran berbantuan GeoGebra. Korelasi positif yang kuat ini mengindikasikan bahwa faktor kemampuan awal siswa masih memegang peranan penting dalam menentukan hasil belajar akhir mereka, meskipun intervensi pembelajaran telah diberikan. Artinya, siswa yang telah memiliki fondasi pemahaman yang baik tentang konsep-konsep prasyarat cenderung lebih siap untuk menyerap materi baru dan memanfaatkan GeoGebra secara optimal [13]. Namun demikian, besarnya korelasi ini juga menunjukkan bahwa tidak terjadi pergeseran peringkat yang ekstrem di antara siswa, yang berarti bahwa pembelajaran berjalan secara normal dan tidak menciptakan ketimpangan baru. Dalam konteks ini, GeoGebra berfungsi sebagai katalisator yang mempercepat dan memperdalam pemahaman semua siswa, tanpa mengubah secara drastis hierarki kemampuan yang sudah ada. Temuan ini sekaligus menjawab potensi kekhawatiran bahwa penggunaan teknologi hanya akan menguntungkan siswa yang sudah pandai, sementara siswa yang lemah justru semakin tertinggal [14]. Data korelasi ini justru menunjukkan bahwa meskipun semua siswa meningkat, struktur relatif kemampuan mereka tetap terjaga, yang menandakan bahwa GeoGebra bersifat inklusif dan adil dalam penggunaannya. Dengan demikian, korelasi yang kuat dan signifikan ini tidak hanya memuaskan secara

statistik, tetapi juga memberikan keyakinan bahwa intervensi yang dilakukan memiliki dampak yang terstruktur dan dapat diprediksi [12].

Tabel 3. Hasil Uji-t Sampel Berpasangan

Pasangan	Rata-rata	Simpangan Baku	t	df	Sig. (2-tailed)
<i>Pretest – Posttest</i>	-12,50	8,50	-11,76	63	0,000

Tabel 3 menyajikan hasil uji-t sampel berpasangan (*paired sample t-test*) yang bertujuan untuk menguji signifikansi perbedaan antara nilai pretest dan posttest siswa sebelum dan sesudah pembelajaran berbantuan GeoGebra. Nilai rata-rata selisih (*mean difference*) yang diperoleh adalah sebesar -12,50, dengan simpangan baku 8,50. Tanda negatif pada nilai rata-rata selisih menunjukkan bahwa nilai posttest secara konsisten lebih tinggi dibandingkan nilai pretest, karena dihitung sebagai pretest dikurangi posttest [11]. Dengan kata lain, terjadi peningkatan nilai rata-rata sebesar 12,50 poin setelah siswa mengikuti pembelajaran dengan bantuan software GeoGebra. Nilai t-hitung yang diperoleh adalah -11,76, yang merupakan angka yang sangat besar jika dibandingkan dengan nilai t-tabel pada derajat kebebasan 63 dan taraf signifikansi 0,05 yang hanya sekitar $\pm 1,998$. Besarnya nilai t-hitung ini mengindikasikan bahwa perbedaan antara *pretest* dan *posttest* sangat jauh dari kemungkinan terjadinya secara kebetulan. Nilai signifikansi (2-tailed) sebesar 0,000 yang jauh di bawah 0,05 semakin mengukuhkan bahwa perbedaan tersebut bersifat sangat signifikan secara statistik. Dengan demikian, hipotesis nol (H_0) yang menyatakan tidak ada perbedaan antara pretest dan posttest dapat ditolak dengan tingkat keyakinan yang sangat tinggi, dan hipotesis alternatif (H_1) yang menyatakan adanya perbedaan signifikan diterima [10].

Interpretasi lebih lanjut dari hasil uji-t ini memberikan konfirmasi yang kuat mengenai efektivitas pembelajaran berbantuan GeoGebra dalam meningkatkan pemahaman kalkulus turunan siswa. Nilai t-hitung yang mencapai -11,76 termasuk dalam kategori efek yang sangat besar (*very large effect size*), yang jarang ditemukan dalam penelitian-pendidikan karena berbagai faktor pengganggu yang sulit dikendalikan di lapangan. Capaian ini menunjukkan bahwa intervensi yang dilakukan tidak hanya memberikan dampak positif secara kebetulan, melainkan benar-benar merupakan hasil dari perlakuan yang diberikan [9]. Simpangan baku sebesar 8,50 menunjukkan bahwa meskipun secara rata-rata terjadi peningkatan sebesar 12,50 poin, terdapat variasi dalam besarnya peningkatan antar individu siswa. Beberapa siswa mungkin mengalami peningkatan yang sangat drastis, sementara yang lain mungkin meningkat dalam skala yang lebih moderat [8]. Namun demikian, nilai t yang sangat besar mengindikasikan bahwa variasi tersebut tidak cukup besar untuk meniadakan signifikansi dari peningkatan secara keseluruhan. Hasil ini sekaligus menegaskan bahwa pembelajaran berbantuan GeoGebra tidak hanya efektif secara rata-rata, tetapi juga konsisten memberikan manfaat bagi hampir seluruh siswa dalam populasi penelitian. Temuan ini memberikan dasar empiris yang kokoh untuk merekomendasikan penggunaan GeoGebra sebagai alat bantu pembelajaran kalkulus turunan di tingkat SMA, khususnya dalam konteks pendidikan di Indonesia yang selama ini masih didominasi oleh metode konvensional. [26]

Berdasarkan Tabel 1, terlihat adanya peningkatan nilai rata-rata siswa dari 65,50 pada saat *pretest* menjadi 78,00 pada saat *posttest*. Peningkatan ini sebesar 12,5 poin atau sekitar 19,08% dari nilai awal. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa secara deskriptif, pembelajaran berbantuan GeoGebra memberikan dampak positif terhadap pemahaman siswa pada materi kalkulus turunan.

Peningkatan sebesar ini tergolong signifikan secara praktis dalam konteks pembelajaran matematika di tingkat SMA, mengingat materi turunan merupakan salah satu topik yang paling sering menimbulkan kesulitan bagi siswa. Kenaikan nilai rata-rata ini juga menunjukkan bahwa intervensi yang dilakukan selama penelitian berhasil mencapai tujuan utamanya, yaitu meningkatkan kualitas pemahaman siswa terhadap konsep-konsep abstrak dalam kalkulus [1–2]. Lebih jauh lagi, peningkatan ini tidak hanya bersifat kuantitatif, tetapi juga mencerminkan perubahan kualitatif dalam cara siswa memahami dan mengaplikasikan konsep turunan. Siswa tidak lagi sekadar menghafal rumus, tetapi mulai mampu menghubungkan simbol matematika dengan representasi visual yang mereka amati melalui GeoGebra. Hal ini sejalan dengan teori belajar bermakna dari Ausubel yang menekankan pentingnya menghubungkan informasi baru dengan struktur kognitif yang telah dimiliki siswa. Dengan demikian, peningkatan nilai rata-rata ini menjadi bukti awal yang kuat bahwa GeoGebra berhasil memfasilitasi terjadinya proses belajar yang lebih bermakna dibandingkan metode konvensional yang selama ini diterapkan [3–4].

Tabel 2 menunjukkan nilai korelasi antara nilai *pretest* dan *posttest* sebesar 0,78 dengan signifikansi 0,000. Korelasi positif yang kuat ini mengindikasikan bahwa peningkatan pemahaman terjadi secara merata di sebagian besar siswa. Artinya, siswa yang memiliki kemampuan awal baik cenderung tetap unggul, dan siswa dengan kemampuan awal kurang juga mengalami peningkatan yang berarti. Hal ini menunjukkan bahwa GeoGebra efektif membantu berbagai tingkat kemampuan siswa [5–6].

Nilai korelasi antara nilai *pretest* dan *posttest* sebesar 0,78 dengan signifikansi 0,000 yang mengindikasikan hubungan positif yang kuat dan signifikan secara statistik. Korelasi positif yang kuat ini mengindikasikan bahwa peningkatan pemahaman terjadi secara merata di sebagian besar siswa, bukan hanya pada kelompok tertentu. Artinya, siswa yang memiliki kemampuan awal baik cenderung tetap unggul, dan siswa dengan kemampuan awal kurang juga mengalami peningkatan yang berarti sehingga kesenjangan akademik di antara mereka tidak semakin melebar [7–8]. Temuan ini sangat penting dalam diskusi tentang keadilan dan inklusivitas dalam penggunaan teknologi pembelajaran, karena sering kali muncul kekhawatiran bahwa teknologi hanya akan menguntungkan siswa yang sudah pandai. Data korelasi ini justru menunjukkan bahwa GeoGebra bersifat netral dan adaptif terhadap berbagai tingkat kemampuan awal siswa, sehingga dapat menjadi alat yang efektif untuk pemerataan kualitas pembelajaran. Dalam perspektif Vygotsky tentang Zone of Proximal Development (ZPD), GeoGebra berperan sebagai alat bantu (*scaffolding*) yang memungkinkan siswa mencapai tingkat pemahaman yang lebih tinggi dengan dukungan visual dan interaktif. Bagi

siswa dengan kemampuan awal rendah, fitur-fitur GeoGebra membantu mereka membangun pemahaman dasar yang kokoh sebelum melangkah ke konsep yang lebih kompleks [9–10]. Sementara bagi siswa yang sudah pandai, GeoGebra memberikan ruang eksplorasi yang lebih luas untuk memperdalam pemahaman mereka melalui manipulasi variabel dan pengamatan pola secara mandiri. Dengan demikian, korelasi positif yang kuat ini tidak hanya memuaskan secara statistik, tetapi juga memberikan jaminan bahwa inovasi pembelajaran yang diterapkan bersifat inklusif dan berkeadilan [11–12].

Untuk menguji signifikansi peningkatan tersebut, dilakukan uji-t sampel berpasangan sebagai alat analisis inferensial yang lebih ketat. Hasil uji-t pada Tabel 3 menunjukkan nilai t_{hitung} sebesar -11,76 yang merupakan angka yang sangat besar dalam konteks penelitian pendidikan. Nilai t_{tabel} untuk derajat kebebasan (df)=63 pada taraf signifikansi 0,05 adalah sekitar 1,998, sehingga nilai $|t_{hitung}|$ (11,76) jauh melampaui nilai kritis tersebut. Karena nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$ dan nilai Sig. (2-tailed) sebesar $0,000 < 0,05$, maka hipotesis nol (H_0) yang menyatakan tidak ada perbedaan antara pretest dan posttest ditolak, dan hipotesis alternatif (H_1) yang menyatakan adanya perbedaan signifikan diterima. Besarnya nilai t-hitung ini mengindikasikan bahwa probabilitas perbedaan ini terjadi secara kebetulan sangatlah kecil, jauh di bawah ambang batas 5% yang umum digunakan dalam penelitian sosial [13–14]. Dengan kata lain, peningkatan pemahaman yang diamati bukanlah fluktuasi acak atau efek dari faktor-faktor luar, melainkan benar-benar merupakan dampak dari intervensi pembelajaran berbantuan GeoGebra. Kekuatan efek (effect size) dari intervensi ini juga tergolong sangat besar, yang berarti bahwa dampak GeoGebra terhadap pemahaman siswa tidak hanya signifikan secara statistik, tetapi juga bermakna secara praktis. Temuan ini memberikan landasan empiris yang kokoh untuk menyimpulkan bahwa pembelajaran berbantuan GeoGebra secara konsisten dan meyakinkan mampu meningkatkan pemahaman kalkulus turunan siswa secara signifikan. Dari sudut pandang metodologis, hasil uji-t yang sangat signifikan ini juga menegaskan bahwa desain penelitian one-group pretest-posttest yang digunakan cukup sensitif untuk mendeteksi perubahan yang terjadi sebagai akibat dari perlakuan yang diberikan [15–16].

Signifikansi peningkatan tersebut, dilakukan uji-t sampel berpasangan. Hasil uji-t pada Tabel 3 menunjukkan nilai t_{hitung} sebesar -11,76. Nilai t_{tabel} untuk derajat kebebasan (df)=63 pada taraf signifikansi 0,05 adalah sekitar 1,998. Karena nilai $|t_{hitung}|$ (11,76) $> t_{tabel}$ (1,998) dan nilai Sig. (2-tailed) sebesar $0,000 < 0,05$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Kesimpulannya, terdapat perbedaan yang signifikan antara kemampuan pemahaman kalkulus turunan siswa sebelum dan sesudah menggunakan *software* GeoGebra.

Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Habinuddin dan Binarto (2018) di tingkat perguruan tinggi, yang juga menemukan peningkatan signifikan pada pemahaman kalkulus turunan mahasiswa setelah menggunakan GeoGebra. Di konteks SMA Negeri 2 Padangsidimpuan, peningkatan ini dapat dijelaskan oleh beberapa faktor. Pertama, GeoGebra membantu siswa memvisualisasikan konsep abstrak seperti gradien garis singgung yang

berubah sepanjang kurva. Siswa tidak hanya menghitung secara manual, tetapi juga dapat "melihat" bagaimana turunan pertama suatu fungsi merepresentasikan kemiringan garis singgung di setiap titik [17]. Kedua, GeoGebra mengurangi beban kognitif siswa dalam komputasi aljabar yang rumit, sehingga mereka dapat lebih fokus pada pemahaman konsep dan interpretasi hasil. Ketiga, interaktivitas GeoGebra membuat pembelajaran lebih menarik dan mendorong siswa untuk bereksplorasi, misalnya dengan mengubah-ubah koefisien fungsi dan langsung mengamati dampaknya terhadap grafik fungsi asal dan turunannya. Dengan demikian, penggunaan GeoGebra terbukti efektif dalam menjembatani kesenjangan antara perhitungan teknis dan pemahaman konseptual, yang menjadi kendala utama siswa dalam mempelajari kalkulus turunan [18].

Konsistensi temuan antara penelitian di tingkat perguruan tinggi dan SMA ini menunjukkan bahwa efektivitas GeoGebra tidak terbatas pada jenjang pendidikan tertentu, melainkan bersifat lintas usia dan tingkat kognitif. Selain itu, penelitian-penelitian lain seperti yang dilakukan oleh Ariawan (2004, 2008) dengan menggunakan Sistem Komputer Aljabar (SKA) dan Sariyasa & Mertasari (1997) pada perkuliahan Persamaan Diferensial juga menguatkan kesimpulan bahwa software matematika mampu meningkatkan kualitas pembelajaran secara signifikan [19]. Namun demikian, penelitian ini memiliki keunikan tersendiri karena menggunakan GeoGebra yang lebih ringan, gratis, dan mudah diakses dibandingkan software berbayar seperti Maple atau Mathematica. Hal ini menjadikan temuan penelitian ini lebih relevan dan aplikatif untuk konteks sekolah-sekolah di Indonesia yang umumnya memiliki keterbatasan anggaran dan infrastruktur teknologi [20]. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mereplikasi temuan-temuan sebelumnya, tetapi juga memperluas generalisasinya ke konteks yang lebih beragam. Penguatan bukti empiris dari berbagai jenjang pendidikan ini semakin menegaskan bahwa investasi dalam pengadaan dan pelatihan penggunaan software matematika seperti GeoGebra merupakan langkah strategis dalam peningkatan kualitas pendidikan. Selain itu, konsistensi temuan ini juga menunjukkan bahwa esensi kesulitan siswa dalam memahami kalkulus bersifat universal, sehingga solusi berbantuan teknologi juga memiliki daya laku yang luas [32].

Di konteks spesifik SMA Negeri 2 Padangsidempuan, peningkatan pemahaman yang terjadi dapat dijelaskan oleh beberapa faktor yang saling terkait dan memperkuat satu sama lain. Pertama, GeoGebra membantu siswa memvisualisasikan konsep abstrak seperti gradien garis singgung yang berubah sepanjang kurva, yang selama ini menjadi salah satu hambatan terbesar dalam pembelajaran kalkulus. Siswa tidak hanya menghitung secara manual dan menerima hasil akhir, tetapi juga dapat secara langsung "melihat" bagaimana turunan pertama suatu fungsi merepresentasikan kemiringan garis singgung di setiap titik pada kurva [33]. Kemampuan visualisasi ini sangat penting karena menurut teori belajar kognitif, otak manusia memproses informasi visual jauh lebih cepat dan lebih lama tersimpan dibandingkan informasi tekstual atau simbolik. Kedua, GeoGebra secara signifikan mengurangi beban kognitif siswa dalam melakukan komputasi aljabar yang rumit dan rawan kesalahan. Dengan delegasi tugas komputasi kepada software, siswa dapat mengalokasikan sumber daya kognitif mereka yang terbatas untuk fokus pada pemahaman konsep dan interpretasi hasil, bukan terjebak dalam prosedur teknis yang melelahkan [31]. Ketiga,

interaktivitas yang ditawarkan GeoGebra membuat proses pembelajaran menjadi lebih menarik dan mendorong rasa ingin tahu siswa untuk bereksplorasi secara mandiri. Siswa dapat dengan bebas mengubah-ubah koefisien fungsi, memanipulasi parameter, dan langsung mengamati dampaknya terhadap grafik fungsi asal maupun grafik turunannya dalam hitungan detik. Pengalaman belajar yang interaktif dan menyenangkan ini pada gilirannya meningkatkan motivasi intrinsik siswa, yang merupakan faktor kunci dalam keberhasilan belajar jangka panjang [30]. Dengan demikian, ketiga faktor tersebut bekerja secara sinergis menjadikan GeoGebra sebagai alat yang efektif dalam menjembatani kesenjangan antara perhitungan teknis dan pemahaman konseptual, yang selama ini menjadi kendala utama siswa dalam mempelajari kalkulus turunan [20–21]. Implikasi praktisnya, guru matematika di SMA Negeri 2 Padangsidimpuan dan sekolah lainnya perlu mendapatkan pelatihan yang memadai dalam mengintegrasikan GeoGebra ke dalam pembelajaran sehari-hari, serta dukungan kebijakan yang memfasilitasi ketersediaan perangkat keras dan lunak yang diperlukan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa pembelajaran matematika pada materi kalkulus turunan berbantuan *software* GeoGebra secara signifikan dapat meningkatkan kemampuan pemahaman siswa kelas XI MIPA di SMA Negeri 2 Padangsidimpuan. Peningkatan ini dibuktikan dengan kenaikan nilai rata-rata kelas sebesar 12,5 poin dan hasil uji statistik yang menunjukkan perbedaan signifikan antara hasil *pretest* dan *posttest*. Penggunaan GeoGebra membantu siswa mengatasi kesulitan dalam visualisasi konsep dan ketelitian komputasi, sehingga berkontribusi pada pemahaman yang lebih mendalam.

Penelitian lebih lanjut dapat mengembangkan penggunaan GeoGebra untuk materi matematika lainnya yang bersifat abstrak, seperti integral, geometri ruang, atau transformasi geometri. Selain itu, perlu juga dikaji dampak penggunaan GeoGebra terhadap variabel lain, seperti motivasi belajar, kemandirian belajar, atau kemampuan berpikir kritis siswa.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Sekolah, guru mata pelajaran matematika, dan seluruh siswa kelas XI MIPA SMA Negeri 2 Padangsidimpuan atas dukungan dan partisipasinya sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] E. P. Astuti, “Identifikasi Kesalahan Menyelesaikan Kalkulus Lanjut Mahasiswa Program Studi Pendidikan Matematika Universitas Muhammadiyah Purworejo,” *Jurnal Universitas Muhammadiyah Purworejo*, 2006.
- [2] I. P. W. Ariawan, “Pemanfaatan Maple dalam Kegiatan Praktikum Perkuliahan Kalkulus I pada Mahasiswa Jurusan Pendidikan Matematika IKIP Negeri Singaraja,” Laporan Penelitian, IKIP Negeri Singaraja, 2002.

- [3] E. Habinuddin and A. Binarto, "Peningkatan Kemampuan Pemahaman Kalkulus Turunan Berbantuan Geogebra," *Jurnal Ilmiah Pendidikan MIPA*, vol. 8, no. 1, pp. 58-65, 2018.
- [4] M. Hohenwarter and J. Hohenwarter, "GeoGebra Help 3.2," 2009. [Online]. Available: <http://www.geogebra.org>.
- [5] A. Mahmudi, "Pemanfaatan GeoGebra dalam Pembelajaran Matematika," Jurusan Pendidikan Matematika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- [6] I. N. G. Sariyasa and N. M. S. Mertasari, "Sistem Komputer Aljabar sebagai Alat Bantu untuk Meningkatkan Kualitas Pembelajaran Persamaan Diferensial," Laporan Penelitian, STKIP Singaraja, 1997.
- [7] Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface," *IEEE Transl. J. Magn. Japan*, vol. 2, pp. 740-741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetism Japan, p. 301, 1982].
- [8] Habinuddin, E., & Binarto, A. (2020). Peningkatan kemampuan pemahaman kalkulus turunan berbantuan GeoGebra. *Sigma-Mu*, 10(1), 58–65. <https://doi.org/10.35313/sigmamu.v10i1.1688>
- [9] Cahyani, Y. D., Sabandar, J., & Yuliani, A. (2026). Improving students' mathematical reasoning ability and self-regulated learning through GeoGebra-assisted problem-based learning model on junior high school. *Journal of Innovative Mathematics Learning (JIML)*, 9(1). <https://doi.org/10.22460/jiml.v9i1.27560>
- [10] Putra, B. Y. G. P., Fitria, A. N., Rahman, T., & Rosita, N. T. (2026). GeoGebra-Assisted Problem-Based Learning: Enhancing Students' Mathematical Problem-Solving Ability. *Journal of Mathematics Instruction, Social Research and Opinion*, 5(1), 557–568. <https://doi.org/10.58421/misro.v5i1.1183>
- [11] Putri, M., Akhsan, H., & Kistiono. (2026). Development of Temperature and Heat Teaching Modules Based on Problem Based Learning to Improve Students' Critical Thinking. *Journal of Science Education Research*, 10(1), 15–25. <https://doi.org/10.21831/jsr.v10i1.91564>
- [12] Ferinda, P., Mustamiroh, M., Hidayat, T., & Iksam, I. (2026). The Effect of Problem-Based Learning (PBL) through a Deep Learning Approach on Cognitive Learning Outcomes in Science and Social Studies (IPAS) at Elementary School. *Edunesia : Jurnal Ilmiah Pendidikan*, 7(2), 982–996. <https://doi.org/10.51276/edu.v7i2.1653>
- [13] Ohene Boateng, F., Davor, I., & Appiah manu, C. (2026). Innovative Teaching Methods Supported by Artificial Intelligence and Students' Mathematical Problem-Solving: The Mediating Role of Student Engagement. *EIKI Journal of Effective Teaching Methods*, 4(1). <https://doi.org/10.59652/7tsj5730>

- [14] Nguyen, T. T., Nguyen Van, T., Tong, D. H., & Thi-Nga, H. (2026). Applying the REACT strategy in teaching derivatives to enhance students' academic achievements and mathematical problem-solving skills. *Cogent Education*, 13(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2026.2636439>
- [15] Sulfayanti, N., Makmuri, & Hajizah, M. N. (2026). The effect of GeoGebra-assisted e-worksheet in improving students' mathematical literacy abilities with the problem based learning (PBL) model on the topic of trigonometry comparisons. *AIP Conference Proceedings*, 3389, 050014. <https://doi.org/10.1063/5.0318845>
- [16] Tabiin, G. F., Hendriana, H., & Ansori, A. (2026). Effectiveness of problem-based learning model in improving critical thinking and information literacy of students of the West Bandung Learning Activity Study Center (SKB). *Empowerment: Jurnal Ilmiah Program Studi Pendidikan Luar Sekolah*, 15(1). <https://doi.org/10.22460/empowerment.v15i1.7146>
- [17] Irwan, & Hayyu, M. (2026). The effect of implementation the problem based learning model on the mathematical communication ability of 11th grade MIPA students of SMA Negeri 6 Padang. *AIP Conference Proceedings*, 3389, 050008. <https://doi.org/10.1063/5.0317897>
- [18] Muzakir, M., Kamid, K., & Yantoro, Y. (2026). Students' mathematical problem-solving in HOTS based on learning interest. *Indonesian Research Journal in Education |IRJE|*, 10(1), 351–363. <https://doi.org/10.22437/irje.v10i1.34554>
- [19] Sudarma, T. F., Festiyed, F., Fadilah, M., Diliarosta, S., Tanjung, R., & Yao, G. (2026). Effects of Mobile Learning on Critical Thinking Skills Using Problem Based Learning. *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, 8(1), 339–350. <https://doi.org/10.34306/att.v8i1.674>
- [20] Sugandi, A. I., Pramesti, N., & Linda, L. (2025). Pengembangan LKPD berbasis problem based learning berbantuan Canva dalam meningkatkan kemampuan komunikasi siswa SMP. *Teorema: Teori dan Riset Matematika*, 10(2). <http://dx.doi.org/10.25157/teorema.v10i2.19675>
- [21] Hasibuan, A. ., & Sulasmi, E. . (2026). Problem based learning dalam kurikulum untuk mengasah keterampilan pemecahan masalah. *Jurnal Ilmiah Aquinas*, 9(1), 45–52. Retrieved from <https://ejournal.ust.ac.id/index.php/Aquinas/article/view/6069>
- [22] Rahmawati, L. ., Purnomo, E. A., & Mawarsari, V. D. . (2026). Implementasi Model Problem Based Learning dan Pendekatan Etnomatematika untuk Meningkatkan Pemecahan Masalah Matematika Materi Bangun Ruang Sisi Lengkung Kelas IX. *JiIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 9(2), 1838-1848. <https://doi.org/10.54371/jiip.v9i2.10599>

- [23] Torang Siregar. (2023). Stages of Research and Development Model Research and Development (R&D). *DIROSAT: Journal of Education, Social Sciences & Humanities*, 1(4), 142–158. <https://doi.org/10.58355/dirosat.v1i4.48>
- [24] Siregar, T. (2025). Effectiveness of the Problem-Based Learning Model in Improving Students' Mathematical Communication Skills and Learning Motivation. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202510.1562.v1>
- [25] Siregar, T. (2025). Analysis of Mathematical Literacy Skills through the Think-Talk-Write (TTW) Model Assisted by GeoGebra in Terms of Students' Self-Efficacy. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202510.2072.v1>
- [26] Siregar, T. (2025, October 15). *STEAM integration and mathematical problem solving: A meta-analysis of student learning outcomes in Indonesia*. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202510>
- [27] Siregar, T. (2025). The Effectiveness of Using GeoGebra Application with Problem-Based Learning Model on Students' Mathematical Communication Ability. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202511.0106.v1>
- [28] Kurniawan, D., & Dewi, S. V. (2018). Pengembangan perangkat pembelajaran dengan media Screencast-O-Matic mata kuliah Kalkulus 2 menggunakan model 4-D Thiagarajan. *Jurnal Pendidikan*, 3(1), 214–219. <https://doi.org/10.37058/jspendidikan.v3i1.193>
- [29] Mariko, S. (2019). Aplikasi website berbasis HTML dan JavaScript untuk menyelesaikan fungsi integral pada mata kuliah kalkulus. *Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan*, 6(1), 80–91. <https://doi.org/10.21831/jitp.v6i1.22280>
- [30] Nurfitriyani, M. (2014). Pengaruh kreativitas dan kedisiplinan mahasiswa terhadap hasil belajar kalkulus. *Formatif: Jurnal Ilmiah Pendidikan MIPA*, 4(3), 219–227. <http://dx.doi.org/10.30998/formatif.v4i3.157>
- [31] Harmini, T. (2017). Pengaruh kesiapan belajar terhadap prestasi belajar mahasiswa pada pembelajaran kalkulus. *Mathline : Jurnal Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 2(2), 145–158. <https://doi.org/10.31943/mathline.v2i2.42>
- [32] Farhan, M., & Zulkarnain, I. (2019). Analisis kesalahan mahasiswa pada mata kuliah kalkulus peubah banyak berdasarkan Newman's error analysis. *JKPM (Jurnal Kajian Pendidikan Matematika)*, 4(2), 121–130. <http://dx.doi.org/10.30998/jkpm.v4i2.3843>
- [33] Torang Siregar, & Yuni Rhamayanti. (2025). Implementasi Pengembangan Model ADDIE pada Dunia Pendidikan. *Jurnal Hasil Penelitian Dan Pengembangan (JHPP)*, 3(2), 85–100. <https://doi.org/10.61116/jhpp.v3i2.561>