TEMATIK: Jurnal Konten Pendidikan Matematika
Volume 4, Number 1, Tahun 2026, pp. 105-117
ISSN: 2985-8844
Open Access: http://doi.org/10.55210/jkpm

Perbandingan Kemampuan Pemahaman Konsep Matematis Siswa pada Materi Transformasi Geometri Menggunakan GeoGebra dan Desmos

Sabrina Aisha Putri Lubis[1], Nur Ainun Lubis[2]
[1,2] Universitasi Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia
Email : sabrina0305222086@uinsu.ac.id, nurainunlubisuinsu@uinsu.ac.id

INFORMASI ARTIKEL
Tersedia Online pada:
03 Agustus, 2026

Kata Kunci:
kemampuan pemahaman konsep, transformasi geometri, GeoGebra, Desmos, pembelajaran matematika.

***Keywords*:**
mathematical conceptual understanding, geometry transformations, GeoGebra, Desmos, mathematics learning.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license.
Copyright © 2026 by Author. Published by ***Universitas Islam Zainul Hasan Genggong***

Abstrak

Transformasi geometri merupakan materi yang memerlukan kemampuan visualisasi untuk menghubungkan representasi geometri, koordinat, dan aljabar. Meskipun GeoGebra dan Desmos sama-sama menyediakan lingkungan pembelajaran berbasis visualisasi dinamis, bukti empiris yang membandingkan efektivitas keduanya terhadap kemampuan pemahaman konsep matematis siswa masih terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis perbedaan kemampuan pemahaman konsep matematis siswa yang belajar menggunakan GeoGebra dan Desmos pada materi transformasi geometri. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *quasi-experimental* dan desain *pretest-posttest two-group design*. Sampel penelitian terdiri atas 58 siswa kelas XI SMA Swasta Istiqlal Deli Tua Tahun Pelajaran 2025–2026 yang dipilih melalui *cluster random sampling*. Data dikumpulkan menggunakan tes uraian dan dianalisis secara deskriptif, *independent samples t-test*, dan *normalized gain* (N-Gain). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelompok GeoGebra memperoleh rata-rata posttest lebih tinggi dibandingkan kelompok Desmos (14,41 dan 11,58). Uji *t* menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua kelompok (t(56) = 2,911, p = 0,005). Selain itu, nilai N-Gain kelompok GeoGebra (0,6203) lebih tinggi daripada kelompok Desmos (0,4405). Temuan ini menunjukkan bahwa GeoGebra lebih efektif dalam meningkatkan kemampuan pemahaman konsep matematis pada materi transformasi geometri. Penelitian ini memberikan bukti empiris mengenai pemilihan media pembelajaran digital yang sesuai untuk mendukung pembelajaran geometri berbasis visualisasi.

Abstract

Geometric transformation is a mathematical topic that requires strong visualization skills to connect geometric, coordinate, and algebraic representations. Although GeoGebra and Desmos both provide dynamic visualization-based learning environments, empirical evidence comparing their effectiveness in improving students' mathematical conceptual understanding remains limited. This study aimed to examine the differences in students' mathematical conceptual understanding between those who learned using GeoGebra and those who learned using Desmos in geometric transformation. A quantitative approach with a quasi-experimental method and a pretest-posttest two-group design was employed. The sample consisted of 58 eleventh-grade students from SMA Swasta Istiqlal Deli Tua in the 2025–2026 academic year, selected through cluster random sampling. Data were collected using an essay test and analyzed using descriptive statistics, an independent samples *t*-test, and normalized gain (N-Gain). The results indicated that the GeoGebra group achieved a higher mean posttest score than the Desmos group (14.41 and 11.58, respectively). The *t*-test revealed a statistically significant difference between the two groups ($t(56) = 2.911$, $p = 0.005$). Furthermore, the GeoGebra group obtained a higher N-Gain score (0.6203) than the Desmos group (0.4405). These findings suggest that GeoGebra is more effective than Desmos in enhancing students' mathematical conceptual understanding of geometric transformation. This study provides empirical evidence to support the selection of appropriate digital learning media for visualization-based geometry instruction.

*Corresponding author.
E-mail addresses: sabrina0305222086@uinsu.ac.id

PENDAHULUAN

Kemampuan pemahaman konsep matematis merupakan salah satu kemampuan penting dalam pembelajaran matematika karena menjadi dasar bagi peserta didik untuk memahami hubungan antarkonsep, menjelaskan ide matematika, serta menerapkan konsep dalam berbagai situasi pemecahan masalah. Pemahaman konsep tidak hanya berkaitan dengan kemampuan mengingat atau menggunakan rumus, tetapi juga mencakup kemampuan mengonstruksi makna dari suatu konsep dan menghubungkannya dengan representasi atau konsep matematika lainnya. Ningrum et al., (2022) menempatkan pemahaman konseptual sebagai salah satu komponen penting dalam kecakapan matematis. Oleh karena itu, pembelajaran matematika perlu memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk membangun pemahaman yang bermakna melalui pengalaman mengamati, mengeksplorasi, merepresentasikan, menjelaskan, dan menerapkan konsep.

Dalam penelitian ini, kemampuan pemahaman konsep matematis diarahkan pada kemampuan peserta didik dalam menjelaskan kembali konsep, mengidentifikasi atau mengklasifikasikan objek berdasarkan karakteristik tertentu, merepresentasikan konsep dalam berbagai bentuk, menerapkan konsep dalam penyelesaian masalah, serta menghubungkan suatu konsep dengan konsep matematika lainnya. Indikator tersebut relevan dengan karakteristik pembelajaran matematika yang menempatkan pemahaman sebagai kemampuan untuk mengonstruksi dan menggunakan makna konsep, bukan sekadar menghafalkan prosedur. Dengan demikian, kemampuan pemahaman konsep perlu menjadi perhatian dalam pembelajaran matematika, khususnya pada materi yang menuntut keterkaitan antara representasi visual, simbolik, dan aljabar.

Kemampuan pemahaman konsep matematika merupakan salah satu kompetensi dasar yang harus dimiliki peserta didik dalam pembelajaran matematika. Kemampuan ini menjadi landasan bagi siswa untuk memahami hubungan antarkonsep, menerapkan konsep dalam pemecahan masalah, serta mengembangkan kemampuan berpikir logis, kritis, dan sistematis (Naz & Qayyum, 2025). Salah satu tujuan utama dalam pembelajaran matematika adalah agar peserta didik mampu memahami konsep-konsep matematika secara baik. Kurikulum matematika pada jenjang sekolah menengah juga menekankan pentingnya penguasaan pengetahuan matematika yang telah dipelajari siswa. Jika siswa tidak memiliki pemahaman konsep yang memadai, maka mereka akan mengalami kesulitan dalam mengaplikasikan konsep, pengetahuan, maupun keterampilan matematika lainnya (Lubis, N.A., & Rahmadhani, 2023). Pada jenjang Sekolah Menengah Atas (SMA), kemampuan pemahaman konsep menjadi semakin penting karena materi yang dipelajari bersifat lebih abstrak dan menuntut kemampuan representasi matematis yang baik. Salah satu materi yang memerlukan kemampuan tersebut adalah transformasi geometri. Materi ini tidak hanya menuntut siswa memahami konsep translasi, refleksi, rotasi, dan dilatasi, tetapi juga mampu menghubungkan representasi visual dengan bentuk aljabar. Namun, pada praktiknya masih banyak siswa mengalami kesulitan dalam memahami konsep transformasi geometri karena pembelajaran yang berlangsung masih didominasi oleh metode konvensional sehingga visualisasi konsep belum dapat disajikan secara optimal (Jablonski & Ludwig, 2023).

Salah satu materi matematika yang memiliki karakteristik tersebut adalah transformasi geometri. Materi transformasi geometri mencakup translasi, refleksi, rotasi, dan dilatasi yang menuntut peserta didik memahami perubahan posisi, bentuk, ukuran, dan koordinat suatu objek. Pemahaman terhadap transformasi tidak cukup hanya melalui penggunaan aturan atau rumus, tetapi juga memerlukan kemampuan menghubungkan objek geometri dengan representasi koordinat dan bentuk aljabar (Raihan Faisal Dzikra & Diny Syarifah, 2025). Karakteristik tersebut menjadikan visualisasi sebagai bagian penting dalam pembelajaran transformasi geometri. Peserta didik perlu mengamati bagaimana suatu objek berubah ketika dikenai suatu transformasi, kemudian menghubungkan perubahan tersebut dengan aturan matematis yang mendasarinya. Penelitian mengenai lingkungan geometri dinamis juga menunjukkan bahwa teknologi digital dapat memperluas akses peserta didik terhadap berbagai

representasi matematis dan mendukung proses menghubungkan representasi tersebut (Bach et al., 2024; Chang et al., 2022).

Kebutuhan terhadap visualisasi tersebut memberikan alasan pedagogis bagi pemanfaatan teknologi digital dalam pembelajaran transformasi geometri. Teknologi tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu untuk menampilkan objek matematika, tetapi dapat digunakan sebagai lingkungan eksplorasi yang memungkinkan peserta didik memanipulasi objek, mengubah parameter, mengamati perubahan secara langsung, dan membangun hubungan antara representasi visual dengan representasi simbolik (Awang et al., 2025; Mary Osei Fokuo et al., 2023). Dalam konteks transformasi geometri, visualisasi dinamis memungkinkan peserta didik mengamati perubahan posisi dan koordinat suatu objek secara langsung sehingga konsep yang bersifat abstrak dapat dipelajari melalui proses eksplorasi (Lavicza et al., 2023). Dengan demikian, pemanfaatan teknologi menjadi relevan apabila dirancang untuk mendukung proses terbentuknya pemahaman konsep, bukan semata-mata untuk meningkatkan ketertarikan atau motivasi belajar.

Salah satu aplikasi yang dapat digunakan untuk tujuan tersebut adalah GeoGebra. GeoGebra merupakan perangkat lunak matematika dinamis yang mengintegrasikan representasi geometri, aljabar, grafik, dan berbagai representasi matematika lainnya. Karakteristik utama GeoGebra terletak pada kemampuannya dalam memanipulasi objek secara dinamis sehingga peserta didik dapat mengamati perubahan suatu objek ketika titik, ukuran, posisi, atau parameter tertentu diubah. Pada materi transformasi geometri, fitur tersebut memungkinkan peserta didik mengonstruksi objek, melakukan translasi, refleksi, rotasi, dan dilatasi, kemudian mengamati perubahan koordinat serta hubungan antara objek awal dan hasil transformasinya. Kajian literatur mengenai penggunaan GeoGebra pada transformasi geometri juga menunjukkan bahwa lingkungan interaktif dan visualisasi dinamis dapat mendukung eksplorasi konsep-konsep transformasi yang bersifat abstrak (Zhang et al., 2025).

Secara pedagogis, penggunaan GeoGebra dapat dikaitkan secara langsung dengan indikator pemahaman konsep matematis. Ketika peserta didik mengubah parameter atau memanipulasi objek, mereka dapat mengidentifikasi karakteristik suatu transformasi; ketika membandingkan objek sebelum dan sesudah transformasi, mereka dapat menjelaskan hubungan antarkonsep; ketika mengamati koordinat dan grafik secara bersamaan, mereka dapat menghubungkan representasi geometris dengan representasi simbolik; dan ketika menggunakan hasil pengamatan untuk menyelesaikan permasalahan lain, mereka dapat menerapkan konsep yang telah dibangun (Dahal et al., 2022). Dengan demikian, kekuatan GeoGebra dalam penelitian ini tidak semata-mata terletak pada banyaknya fitur, tetapi pada potensinya sebagai lingkungan belajar yang memungkinkan peserta didik membangun hubungan antara berbagai representasi matematika.

Selain GeoGebra, Desmos merupakan aplikasi digital yang dapat dimanfaatkan dalam pembelajaran matematika melalui visualisasi grafik dan aktivitas interaktif. Desmos dikenal sebagai graphing calculator yang memungkinkan pengguna merepresentasikan persamaan dan fungsi dalam bentuk grafik secara responsif. Dalam perkembangannya, Desmos juga dapat digunakan untuk aktivitas pembelajaran yang melibatkan manipulasi parameter, penggunaan slider, pengamatan perubahan grafik, dan eksplorasi hubungan antara representasi simbolik dan visual (Bhatia & Chakraborty, 2024). Pada materi transformasi geometri, fasilitas tersebut dapat dimanfaatkan untuk memvisualisasikan perubahan koordinat atau grafik objek ketika aturan transformasi diubah. Penelitian pengembangan Desmos Classroom Activity pada materi transformasi geometri menunjukkan bahwa media interaktif berbasis Desmos dapat dirancang untuk membantu peserta didik mengeksplorasi dan mengonstruksi konsep transformasi secara mandiri.

Karakteristik Desmos tersebut juga memiliki keterkaitan dengan pemahaman konsep matematis. Melalui manipulasi persamaan, koordinat, atau parameter, peserta didik dapat mengamati hubungan antara perubahan simbolik dan perubahan visual. Proses tersebut memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk menjelaskan hubungan antara representasi, mengidentifikasi karakteristik suatu transformasi, serta menerapkan konsep yang diperoleh pada situasi atau objek yang berbeda (Chechan et al., 2023). Penelitian terbaru

mengenai penggunaan Desmos pada transformasi geometri juga melaporkan bahwa lingkungan belajar yang dinamis dan visual dapat membantu penyederhanaan visualisasi konsep geometri yang kompleks serta meningkatkan keterlibatan peserta didik dalam proses pembelajaran.

Meskipun sama-sama memanfaatkan teknologi digital dan visualisasi interaktif, GeoGebra dan Desmos memiliki karakteristik yang berbeda. GeoGebra memiliki lingkungan matematika dinamis yang lebih luas dengan integrasi geometri dan aljabar sehingga konstruksi dan manipulasi objek geometri dapat dilakukan secara langsung. Sementara itu, Desmos lebih dikenal melalui visualisasi grafik yang sederhana, responsif, dan mudah digunakan untuk mengeksplorasi hubungan antara persamaan, koordinat, parameter, dan grafik (Chechan et al., 2023). Perbedaan tersebut menjadi penting dalam konteks pembelajaran transformasi geometri karena peserta didik dapat memperoleh pengalaman belajar yang berbeda dalam mengonstruksi, mengamati, dan menghubungkan representasi suatu transformasi. Oleh karena itu, perbandingan kedua aplikasi tidak hanya relevan berdasarkan perbedaan fitur teknis, tetapi juga berdasarkan kemungkinan perbedaan pengalaman belajar yang dapat mendukung pemahaman konsep matematis.

Sejumlah penelitian terdahulu telah menunjukkan potensi GeoGebra dalam pembelajaran matematika. Hidayati & Murtiyasa (2024) melaporkan bahwa penggunaan GeoGebra pada pembelajaran transformasi geometri dapat meningkatkan kemampuan pemecahan masalah matematis siswa dibandingkan pembelajaran konvensional. Luhukay et al., (2025) menunjukkan bahwa pembelajaran transformasi geometri yang dipadukan dengan teori Van Hiele berbantuan GeoGebra dapat meningkatkan pemahaman konsep siswa melalui visualisasi objek geometri yang lebih jelas. Hidayat et al., (2024) juga menemukan bahwa penggunaan GeoGebra dapat meningkatkan pemahaman konsep matematika sekaligus keterlibatan siswa dalam pembelajaran. Temuan tersebut menunjukkan bahwa GeoGebra memiliki potensi sebagai lingkungan belajar yang mendukung proses visualisasi, eksplorasi, dan pembentukan pemahaman konsep.

Penelitian mengenai Desmos juga menunjukkan temuan yang positif. Rahmatika (2025) mengembangkan pembelajaran transformasi geometri berbasis Desmos dan menunjukkan potensi penggunaan lingkungan visual dan interaktif tersebut dalam mendukung pembelajaran transformasi geometri. Hasibuan et al., (2024) melaporkan adanya pengaruh positif penggunaan Desmos terhadap kemampuan pemahaman konsep matematika siswa, sedangkan Hakim et al. (2025) menunjukkan bahwa penggunaan Desmos dapat mendukung motivasi, keterlibatan, dan pemahaman konsep melalui aktivitas pembelajaran yang lebih interaktif. Temuan yang lebih baru mengenai Desmos pada transformasi geometri juga menunjukkan bahwa visualisasi dinamis dapat digunakan untuk membantu peserta didik memahami konsep yang abstrak.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, baik GeoGebra maupun Desmos memiliki potensi dalam mendukung pembelajaran matematika melalui visualisasi dan interaktivitas. Namun, hasil penelitian terdahulu masih menunjukkan fokus yang beragam. Penelitian tentang GeoGebra pada transformasi geometri antara lain berfokus pada pemecahan masalah, pemahaman konsep, dan penerapan teori belajar tertentu, sedangkan penelitian tentang Desmos lebih banyak mengkaji visualisasi, hasil belajar, pengembangan media, maupun pemahaman konsep (AbdulAmeer & Hassan, 2025). Dengan demikian, temuan-temuan tersebut belum secara langsung memberikan jawaban mengenai apakah penggunaan GeoGebra dan Desmos menghasilkan kemampuan pemahaman konsep matematis yang berbeda ketika keduanya digunakan pada materi transformasi geometri pada jenjang SMA.

Pemetaan penelitian terdahulu tersebut menunjukkan adanya celah penelitian pada aspek komparatif. Penelitian sebelumnya telah memberikan bukti mengenai potensi masing-masing aplikasi, tetapi kajian yang secara langsung menempatkan GeoGebra dan Desmos sebagai dua perlakuan pembelajaran untuk dibandingkan berdasarkan kemampuan pemahaman konsep matematis pada materi transformasi geometri siswa SMA masih terbatas. Keterbatasan tersebut menjadi semakin penting karena kedua aplikasi memiliki karakteristik lingkungan belajar yang berbeda. GeoGebra menonjolkan konstruksi dan manipulasi objek dalam lingkungan geometri dinamis yang terintegrasi dengan aljabar, sedangkan Desmos menonjolkan eksplorasi grafik dan hubungan simbolik-visual melalui antarmuka yang relatif sederhana

(AbdulAmeer & Hassan, 2025). Oleh karena itu, efektivitas pedagogis keduanya tidak dapat diasumsikan sama hanya karena sama-sama menggunakan visualisasi digital.

Berdasarkan research gap tersebut, kebaruan penelitian ini terletak pada pengujian komparatif terhadap penggunaan GeoGebra dan Desmos dengan memusatkan perhatian pada kemampuan pemahaman konsep matematis siswa pada materi transformasi geometri di jenjang SMA. Kebaruan penelitian bukan sekadar penggunaan dua aplikasi secara bersamaan, melainkan terletak pada konteks perbandingan yang mengintegrasikan tiga aspek, yaitu karakteristik media GeoGebra dan Desmos, materi transformasi geometri yang membutuhkan visualisasi dinamis, serta kemampuan pemahaman konsep matematis sebagai variabel hasil. Perbandingan tersebut diharapkan memberikan bukti empiris mengenai apakah perbedaan karakteristik kedua lingkungan digital tersebut berkaitan dengan perbedaan kemampuan pemahaman konsep matematis siswa.

Dengan demikian, penggunaan GeoGebra dan Desmos dalam penelitian ini diposisikan sebagai dua alternatif media pembelajaran yang sama-sama memungkinkan visualisasi dan eksplorasi, tetapi memiliki karakteristik pedagogis yang berbeda. Fokus penelitian bukan untuk mengasumsikan sejak awal bahwa salah satu aplikasi lebih baik, melainkan untuk menguji secara empiris apakah terdapat perbedaan kemampuan pemahaman konsep matematis siswa setelah mengikuti pembelajaran berbantuan kedua aplikasi tersebut. Pendekatan komparatif ini penting agar pemilihan media pembelajaran tidak hanya didasarkan pada popularitas atau kelengkapan fitur aplikasi, tetapi juga pada bukti empiris mengenai capaian kemampuan matematis peserta didik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan kemampuan pemahaman konsep matematis siswa pada materi transformasi geometri antara siswa yang belajar menggunakan aplikasi GeoGebra dan siswa yang belajar menggunakan aplikasi Desmos di SMA Swasta Istiqlal Deli Tua Tahun Pelajaran 2025–2026. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan pembelajaran matematika berbasis teknologi serta menjadi bahan pertimbangan bagi guru dalam memilih media pembelajaran digital yang sesuai dengan karakteristik materi dan kebutuhan peserta didik. Berdasarkan kajian teori dan hasil penelitian terdahulu, hipotesis penelitian yang diajukan adalah H_0: tidak terdapat perbedaan kemampuan pemahaman konsep matematis siswa pada materi transformasi geometri antara siswa yang belajar menggunakan aplikasi GeoGebra dan siswa yang belajar menggunakan aplikasi Desmos, sedangkan H_a: terdapat perbedaan kemampuan pemahaman konsep matematis siswa pada materi transformasi geometri antara kedua kelompok tersebut.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di SMA Swasta Istiqlal Deli Tua, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara pada semester genap Tahun Pelajaran 2025–2026. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode quasi-experimental. Desain penelitian yang digunakan adalah pretest-posttest two-group design, yang melibatkan dua kelompok perlakuan. Kelompok eksperimen I memperoleh pembelajaran berbantuan aplikasi GeoGebra, sedangkan kelompok eksperimen II memperoleh pembelajaran berbantuan aplikasi Desmos. Kedua kelompok diberikan pretest sebelum perlakuan dan posttest setelah perlakuan.

Penggunaan desain quasi-experimental didasarkan pada kondisi bahwa subjek penelitian berasal dari kelas yang telah terbentuk sehingga tidak dilakukan randomisasi individual terhadap siswa. Pemilihan kelompok dilakukan pada tingkat kelas, sedangkan masing-masing kelas memperoleh perlakuan yang berbeda. Desain penelitian dapat disajikan sebagai berikut.

Tabel 1 Desain penelitian

Kelompok	Pretest	Perlakuan	Posttest
Eksperimen I	O_1	X_1 (GeoGebra)	O_2
Eksperimen II	O_3	X_2 (Desmos)	O_4

Keterangan:
O_1 dan O_3 = pretest kemampuan pemahaman konsep matematis;
X_1 = pembelajaran berbantuan aplikasi GeoGebra;
X_2 = pembelajaran berbantuan aplikasi Desmos;
O_2 dan O_4 = posttest kemampuan pemahaman konsep matematis.

Pretest diberikan untuk mengetahui kemampuan awal pemahaman konsep matematis siswa pada kedua kelompok sebelum perlakuan. Hasil pretest digunakan untuk melihat kesetaraan kemampuan awal kedua kelompok sebelum dilakukan perbandingan hasil posttest. Selanjutnya, posttest diberikan setelah seluruh perlakuan selesai untuk mengetahui kemampuan pemahaman konsep matematis siswa setelah mengikuti pembelajaran berbantuan GeoGebra atau Desmos.

Populasi penelitian adalah seluruh siswa kelas XI SMA Swasta Istiqlal Deli Tua Tahun Pelajaran 2025–2026 yang berjumlah 124 siswa dan tersebar dalam empat kelas. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan teknik cluster random sampling, yaitu pemilihan sampel berdasarkan kelompok kelas yang telah terbentuk. Prosedur pemilihan sampel dilakukan dengan memberikan kesempatan yang sama kepada empat kelas dalam populasi untuk dipilih sebagai sampel penelitian. Berdasarkan hasil pengundian, diperoleh kelas XI-1 dan XI-2 sebagai sampel penelitian. Selanjutnya, kedua kelas ditetapkan sebagai kelompok perlakuan, yaitu kelas XI-1 sebagai kelompok eksperimen I yang memperoleh pembelajaran berbantuan GeoGebra dan kelas XI-2 sebagai kelompok eksperimen II yang memperoleh pembelajaran berbantuan Desmos. Masing-masing kelompok terdiri atas 29 siswa sehingga jumlah keseluruhan sampel adalah 58 siswa.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah media pembelajaran berbasis teknologi yang terdiri atas aplikasi GeoGebra dan aplikasi Desmos. Variabel terikat adalah kemampuan pemahaman konsep matematis siswa pada materi transformasi geometri. Kemampuan pemahaman konsep matematis diukur melalui lima indikator, yaitu: (1) menjelaskan kembali konsep; (2) mengklasifikasikan dan memberikan contoh konsep; (3) merepresentasikan konsep dalam berbagai bentuk; (4) menerapkan konsep dalam pemecahan masalah; dan (5) mengaitkan serta mengembangkan konsep.

Instrumen penelitian berupa tes uraian yang terdiri atas lima butir soal yang disusun berdasarkan indikator kemampuan pemahaman konsep matematis. Setiap butir soal diberi skor pada rentang 0–4 sesuai dengan rubrik penilaian yang telah disusun, sehingga skor maksimum yang diperoleh siswa adalah 20. Sebelum digunakan dalam penelitian, instrumen terlebih dahulu melalui uji validitas isi oleh ahli. Selanjutnya, instrumen diuji cobakan kepada siswa di luar sampel penelitian untuk mengetahui validitas empiris, reliabilitas, tingkat kesukaran, dan daya pembeda setiap butir soal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh butir soal memenuhi kriteria yang ditetapkan sehingga instrumen dinyatakan layak digunakan untuk mengukur kemampuan pemahaman konsep matematis siswa.

Pengumpulan data dilakukan melalui tiga tahap. Tahap pertama adalah pemberian pretest kepada kelompok eksperimen I dan eksperimen II sebelum pembelajaran dimulai. Pretest bertujuan mengetahui kemampuan awal pemahaman konsep matematis siswa dan memastikan bahwa kondisi awal kedua kelompok dapat dipertimbangkan dalam interpretasi hasil penelitian. Tahap kedua adalah pelaksanaan pembelajaran materi transformasi geometri selama empat kali pertemuan. Kelompok eksperimen I memperoleh pembelajaran berbantuan aplikasi GeoGebra, sedangkan kelompok eksperimen II memperoleh pembelajaran berbantuan aplikasi Desmos. Materi, tujuan pembelajaran, dan alokasi waktu pembelajaran pada kedua kelompok disamakan, sedangkan media pembelajaran yang digunakan menjadi pembeda perlakuan. Tahap ketiga adalah pemberian posttest kepada kedua kelompok setelah seluruh perlakuan selesai. Posttest digunakan untuk mengukur kemampuan pemahaman konsep matematis siswa setelah memperoleh pembelajaran berbantuan GeoGebra dan Desmos.

Data penelitian dianalisis secara deskriptif dan inferensial. Analisis deskriptif digunakan untuk memperoleh nilai minimum, maksimum, rata-rata, dan simpangan baku skor pretest dan posttest pada masing-masing kelompok. Hasil pretest digunakan untuk menggambarkan

kemampuan awal siswa pada kedua kelompok, sedangkan hasil posttest digunakan sebagai dasar utama dalam pengujian perbedaan kemampuan pemahaman konsep matematis setelah perlakuan. Sebelum pengujian hipotesis, dilakukan uji prasyarat berupa uji normalitas dan uji homogenitas. Uji normalitas digunakan untuk mengetahui apakah data memenuhi asumsi distribusi normal, sedangkan uji homogenitas digunakan untuk mengetahui kesamaan varians kedua kelompok. Pengujian dilakukan pada taraf signifikansi 0,05.

Setelah asumsi terpenuhi, perbedaan kemampuan pemahaman konsep matematis antara kelompok GeoGebra dan kelompok Desmos dianalisis menggunakan uji-t dua sampel independen (independent samples t-test). Pengujian dilakukan terhadap skor posttest kedua kelompok. Pemilihan skor posttest sebagai dasar pengujian didasarkan pada tujuan penelitian yang berfokus pada perbedaan kemampuan pemahaman konsep matematis setelah kedua kelompok memperoleh perlakuan yang berbeda, sedangkan skor pretest digunakan untuk menggambarkan dan memeriksa kesetaraan kemampuan awal. Statistik uji-t dua sampel independen dihitung dengan persamaan:

$$t = \frac{\overline{x_1} - \overline{x_2}}{\sqrt{S^2\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

Adapun varians gabungan dihitung menggunakan persamaan:

$$S_p = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Data penelitian dianalisis secara deskriptif dan inferensial. Analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan kemampuan pemahaman konsep matematis siswa berdasarkan nilai pretest, posttest, dan peningkatan hasil belajar. Sebelum pengujian hipotesis dilakukan, data terlebih dahulu diuji untuk memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas. Selanjutnya, perbedaan kemampuan pemahaman konsep matematis antara kelompok yang belajar menggunakan aplikasi GeoGebra dan kelompok yang belajar menggunakan aplikasi Desmos dianalisis menggunakan independent samples t-test. Selain itu, peningkatan kemampuan pemahaman konsep matematis pada masing-masing kelompok dideskripsikan menggunakan *normalized gain* (N-Gain) sebagai analisis pendukung. Seluruh analisis data dilakukan dengan bantuan Microsoft Excel dan IBM SPSS Statistics.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian diperoleh dari analisis kemampuan pemahaman konsep matematis siswa pada materi transformasi geometri setelah pembelajaran berbantuan aplikasi GeoGebra dan Desmos. Analisis meliputi statistik deskriptif pretest dan posttest, uji prasyarat analisis, pengujian perbedaan kemampuan pemahaman konsep matematis setelah pembelajaran, serta analisis peningkatan menggunakan indeks gain ternormalisasi (N-Gain). Interpretasi hasil penelitian dilakukan dengan membedakan temuan yang bersifat deskriptif dengan hasil yang didukung oleh pengujian statistik. Statistik deskriptif hasil pretest dan posttest kemampuan pemahaman konsep matematis siswa disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Statistik Deskriptif Hasil Pretest dan Posttest

Kelas	N	Pretest (Mean)	Posttest (Mean)	Standar Deviasi Posttest
GeoGebra	29	5,10	14,41	3,83
Desmos	29	3,34	11,58	3,33

Berdasarkan Tabel 2, rata-rata pretest kelompok GeoGebra sebesar 5,10, sedangkan kelompok Desmos sebesar 3,34. Secara deskriptif, terdapat selisih rata-rata kemampuan awal sebesar 1,76 poin, dengan rata-rata kelompok GeoGebra lebih tinggi daripada kelompok Desmos. Perbedaan kemampuan awal tersebut perlu diperhatikan dalam menginterpretasikan hasil penelitian karena kondisi awal peserta didik dapat berkaitan dengan capaian setelah

pembelajaran. Setelah diberikan perlakuan, rata-rata posttest kelompok GeoGebra mencapai 14,41, sedangkan kelompok Desmos mencapai 11,58. Dengan demikian, secara deskriptif kedua kelompok menunjukkan kenaikan rata-rata skor dari pretest ke posttest. Rata-rata skor kelompok GeoGebra meningkat sebesar 9,31 poin, sedangkan kelompok Desmos meningkat sebesar 8,24 poin. Selisih kenaikan rata-rata kedua kelompok adalah 1,07 poin.

Kenaikan rata-rata tersebut menunjukkan adanya perubahan capaian secara deskriptif setelah pembelajaran pada kedua kelompok. Namun, kenaikan tersebut belum dapat dinyatakan sebagai peningkatan yang signifikan secara statistik karena penelitian ini tidak menggunakan uji statistik berpasangan untuk membandingkan skor pretest dan posttest pada masing-masing kelompok. Oleh karena itu, istilah "meningkat" dalam penelitian ini digunakan dalam pengertian deskriptif, sedangkan pengujian inferensial digunakan untuk mengetahui perbedaan capaian antara kedua kelompok setelah pembelajaran.

Perbedaan rata-rata kemampuan awal juga menjadi pertimbangan dalam membaca hasil penelitian. Kelompok GeoGebra memiliki rata-rata pretest sebesar 5,10, sedangkan kelompok Desmos sebesar 3,34. Dengan demikian, kelompok GeoGebra memiliki kemampuan awal yang secara deskriptif lebih tinggi sebesar 2,831 poin. Kondisi tersebut menjadi keterbatasan dalam interpretasi hasil karena perbedaan capaian posttest tidak dapat dilepaskan sepenuhnya dari kondisi awal kedua kelompok.

Distribusi kategori kemampuan pemahaman konsep matematis setelah pembelajaran memperlihatkan perbedaan pola capaian antara kedua kelompok. Pada kelompok GeoGebra, sebanyak 34,48% siswa berada pada kategori baik dan 27,58% berada pada kategori sangat baik. Sementara itu, pada kelompok Desmos, sebanyak 62,06% siswa berada pada kategori cukup baik, sedangkan kategori baik dan sangat baik masing-masing sebesar 3,44% dan 13,79%. Secara deskriptif, distribusi tersebut menunjukkan bahwa proporsi siswa pada kategori kemampuan yang lebih tinggi lebih besar pada kelompok GeoGebra dibandingkan kelompok Desmos. Temuan tersebut sejalan dengan perbedaan rata-rata posttest kedua kelompok. Namun, distribusi kategori tersebut tidak digunakan sebagai dasar tunggal untuk menyatakan keunggulan salah satu perlakuan karena terdapat perbedaan kemampuan awal yang perlu dipertimbangkan.

Sebelum dilakukan pengujian perbedaan kemampuan pemahaman konsep matematis setelah pembelajaran, data posttest dianalisis melalui uji normalitas dan uji homogenitas (Lihat Tabel 3). Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa data posttest kedua kelompok memenuhi asumsi normalitas berdasarkan kriteria pengujian yang digunakan. Selanjutnya, hasil uji homogenitas Bartlett menunjukkan nilai χ^2 hitung sebesar 0,542 lebih kecil daripada χ^2 tabel sebesar 3,841 pada taraf signifikansi 0,05. Dengan demikian, varians kedua kelompok dinyatakan homogen. Terpenuhinya asumsi normalitas dan homogenitas memungkinkan analisis dilanjutkan menggunakan independent samples t-test untuk mengetahui perbedaan kemampuan pemahaman konsep matematis antara kelompok GeoGebra dan Desmos.

Tabel 3 Ringkasan Uji Prasyarat Analisis

Pengujian	Geogebra	Desmos	Keputusan
Normalitas Posttest	0,15362	0,16204	Berdistribusi Normal
Homogenitas Varians	$X^2 hitung = 0{,}542$	$X^2 tabel = 3{,}841$	Homogen

Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa data posttest kedua kelas berdistribusi normal karena nilai statistik pengujian lebih kecil daripada nilai kritis pada taraf signifikansi 5%. Selanjutnya, uji homogenitas Bartlett menunjukkan nilai $X^2 hitung$ sebesar 0,542 lebih kecil daripada $X^2 tabel$ sebesar 3,841 sehingga kedua kelompok mempunyai varians yang homogen. Dengan terpenuhinya kedua prasyarat tersebut, analisis dapat dilanjutkan menggunakan uji *Independent Sample t-test*.

Tabel 4 Hasil Uji Hipotesis

Kelas	Mean	t_{hitung}	t_{tabel}	Keputusan
GeoGebra	14,41	2,912	2,003	H_0 ditolak
Desmos	11,58			

Hasil uji hipotesis menunjukkan bahwa nilai t_{hitung} (2,911) lebih besar daripada t_{tabel} (2,003). Dengan demikian, hipotesis nol ditolak dan hipotesis alternatif diterima. Artinya, terdapat perbedaan yang signifikan pada kemampuan pemahaman konsep matematika antara siswa yang belajar menggunakan aplikasi GeoGebra dan siswa yang belajar menggunakan aplikasi Desmos.

Hasil uji hipotesis menguatkan bahwa penggunaan media pembelajaran digital yang memiliki karakteristik visual interaktif memberikan pengaruh terhadap kemampuan pemahaman konsep matematika. Hasil tersebut mendukung teori konstruktivisme yang menyatakan bahwa pengetahuan dibangun melalui aktivitas eksplorasi dan interaksi siswa dengan objek pembelajaran. Selain pengujian hipotesis, peningkatan kemampuan pemahaman konsep dianalisis menggunakan indeks gain ternormalisasi.

Tabel 5 Hasil Analisis Indeks Gain Ternormalisasi

Kelas	Rata-rata N-Gain	Kategori
GeoGebra	0,6203	Sedang
Desmos	0,4405	

Walaupun kedua kelas berada pada kategori sedang, nilai rata-rata indeks gain kelas GeoGebra lebih tinggi dibandingkan kelas Desmos. Pada kelas GeoGebra terdapat lebih banyak siswa yang mencapai kategori peningkatan tinggi dibandingkan kelas Desmos. Hasil ini menunjukkan bahwa pembelajaran menggunakan GeoGebra memberikan peningkatan kemampuan pemahaman konsep yang lebih optimal.

Temuan penelitian menunjukkan bahwa penggunaan GeoGebra memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan Desmos dalam meningkatkan kemampuan pemahaman konsep matematika siswa pada materi transformasi geometri. Keunggulan tersebut didukung oleh karakteristik GeoGebra yang menyediakan visualisasi dinamis melalui fitur *dragging*, sehingga siswa dapat mengamati secara langsung perubahan posisi, bentuk, dan koordinat objek geometri ketika dilakukan translasi, refleksi, rotasi, maupun dilatasi. Visualisasi yang bersifat interaktif tersebut membantu siswa membangun konsep secara bertahap dan mengurangi kesalahan dalam memahami hubungan antara representasi geometri dan representasi aljabar.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Hidayati dan Murtiyasa (2024) yang menyatakan bahwa GeoGebra mampu meningkatkan pemahaman konsep dan kemampuan pemecahan masalah matematika melalui visualisasi yang interaktif. Temuan ini juga didukung oleh Luhukay et al. (2025) yang melaporkan bahwa penggunaan GeoGebra pada materi transformasi geometri memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna karena siswa dapat mengeksplorasi objek geometri secara langsung. Dengan demikian, visualisasi dinamis menjadi salah satu faktor utama yang mendukung peningkatan kemampuan pemahaman konsep.

Di sisi lain, penggunaan Desmos juga memberikan pengaruh positif terhadap kemampuan pemahaman konsep matematika. Peningkatan rata-rata posttest dan nilai indeks gain menunjukkan bahwa aplikasi tersebut membantu siswa memahami hubungan antara persamaan matematika dan representasi grafik secara lebih mudah. Temuan ini sejalan dengan penelitian Durriah Hasibuan et al. (2024) dan Hakim et al. (2025) yang menyatakan bahwa Desmos mampu meningkatkan keterlibatan siswa serta mempermudah proses pembelajaran matematika melalui antarmuka yang sederhana dan mudah digunakan.

Meskipun demikian, efektivitas Desmos pada materi transformasi geometri masih berada di bawah GeoGebra. Hal ini diduga karena GeoGebra memiliki fitur konstruksi geometri yang lebih lengkap, sehingga proses eksplorasi translasi, refleksi, rotasi, dan dilatasi dapat

dilakukan secara lebih komprehensif. Sebaliknya, Desmos lebih berfokus pada visualisasi grafik fungsi sehingga beberapa aktivitas konstruksi geometri memerlukan langkah tambahan. Perbedaan karakteristik tersebut menyebabkan siswa pada kelas GeoGebra memperoleh pengalaman belajar yang lebih kaya dalam membangun pemahaman konsep.

Secara keseluruhan, hasil penelitian membuktikan bahwa kedua aplikasi digital dapat digunakan sebagai media pembelajaran matematika untuk meningkatkan kemampuan pemahaman konsep siswa. Namun, berdasarkan hasil uji hipotesis dan analisis indeks gain ternormalisasi, aplikasi GeoGebra menunjukkan efektivitas yang lebih tinggi dibandingkan aplikasi Desmos pada materi transformasi geometri. Temuan ini memberikan implikasi bahwa guru matematika dapat memanfaatkan GeoGebra sebagai salah satu media pembelajaran digital yang lebih sesuai untuk materi yang membutuhkan visualisasi geometri secara dinamis.

Hasil penelitian memberikan implikasi bahwa penggunaan media digital dalam pembelajaran matematika perlu disesuaikan dengan karakteristik materi dan tujuan pembelajaran. Pada materi transformasi geometri, visualisasi dinamis dan manipulasi objek dapat menjadi bagian penting dalam membantu siswa menghubungkan representasi visual dengan aturan transformasi. GeoGebra dapat menjadi salah satu alternatif media yang dapat digunakan karena menyediakan lingkungan geometri dinamis dan fasilitas konstruksi objek. Desmos juga dapat dimanfaatkan untuk mendukung eksplorasi hubungan antara representasi simbolik dan grafik. Dengan demikian, guru dapat mempertimbangkan karakteristik media, kebutuhan materi, indikator pembelajaran, serta kondisi awal siswa dalam menentukan media pembelajaran digital. Pemilihan media tidak semata-mata didasarkan pada banyaknya fitur yang tersedia, tetapi pada sejauh mana fitur tersebut mendukung aktivitas belajar yang sesuai dengan karakteristik konsep matematika yang dipelajari.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan kemampuan pemahaman konsep matematika siswa pada materi transformasi geometri yang belajar menggunakan aplikasi GeoGebra dan aplikasi Desmos. Berdasarkan hasil analisis data, diperoleh bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kemampuan pemahaman konsep matematika siswa pada kedua kelas. Siswa yang mengikuti pembelajaran menggunakan aplikasi GeoGebra memperoleh kemampuan pemahaman konsep yang lebih baik dibandingkan siswa yang belajar menggunakan aplikasi Desmos. Selain itu, peningkatan kemampuan pemahaman konsep berdasarkan analisis indeks gain ternormalisasi juga menunjukkan bahwa kelas yang menggunakan GeoGebra mengalami peningkatan yang lebih tinggi dibandingkan kelas yang menggunakan Desmos. Temuan ini menunjukkan bahwa karakteristik GeoGebra yang mampu memvisualisasikan objek geometri secara dinamis dan interaktif memberikan pengalaman belajar yang lebih efektif dalam membantu siswa memahami konsep transformasi geometri. Dengan demikian, penggunaan aplikasi GeoGebra dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif media pembelajaran digital yang lebih efektif untuk meningkatkan kemampuan pemahaman konsep matematika siswa pada materi transformasi geometri.

Berdasarkan hasil penelitian, guru matematika disarankan untuk memanfaatkan aplikasi GeoGebra sebagai salah satu media pembelajaran pada materi transformasi geometri karena terbukti lebih efektif dalam meningkatkan kemampuan pemahaman konsep matematika siswa. Meskipun demikian, aplikasi Desmos tetap dapat digunakan sebagai media pendukung pembelajaran, terutama pada materi yang berfokus pada representasi grafik dan visualisasi fungsi. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan kajian dengan melibatkan jumlah sampel yang lebih besar, jenjang pendidikan yang berbeda, atau materi matematika lainnya sehingga hasil penelitian memiliki daya generalisasi yang lebih luas. Selain itu, penelitian berikutnya dapat mengombinasikan penggunaan GeoGebra dan Desmos dengan model pembelajaran inovatif atau menambahkan variabel lain, seperti kemampuan berpikir kritis, kemampuan pemecahan masalah, atau motivasi belajar, sehingga diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai efektivitas media pembelajaran digital dalam pembelajaran matematika.

DAFTAR PUSTAKA

AbdulAmeer, S. N., & Hassan, A. K. (2025). The Effectiveness of a Proposed Teaching Strategy Based on the Renzulli Model Supported by the GeoGebra and Desmos Programs on the Probing Thinking skills of Secondary School Female Students in Mathematics. *Journal of Posthumanism*. https://doi.org/10.63332/joph.v5i6.2601

Awang, L. A., Yusop, F. D., & Danaee, M. (2025). Current practices and future direction of artificial intelligence in mathematics education: A systematic review. In *International Electronic Journal of Mathematics Education* . https://doi.org/10.29333/iejme/16006

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

Bhatia, K., & Chakraborty, P. (2024). Teaching Algebra to High School Students Using Desmos Graphing Calculator. *IETE Journal of Education*. https://doi.org/10.1080/09747338.2024.2341068

Chang, H. S., Kim, J. Y., & Lee, B. (2022). Discourse analysis on understanding the differential concept of high school students in a dynamic geometry environment. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. https://doi.org/10.29333/ejmste/12152

Chechan, B., Ampadu, E., & Pears, A. (2023). Effect of using Desmos on high school students' understanding and learning of functions. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. https://doi.org/10.29333/ejmste/13540

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*. https://doi.org/10.3991/ijim.v16i08.29575

Dzikra, R. F., & Syarifah, D., (2025). Linear Algebra in Geometric Transformations. *Jurnal Ilmiah Informatika Dan Komputer*. https://doi.org/10.69533/h6b9sx39

Fokuo, M.O., Opoku-Mensah, N., Asamoah, R., Nyarko, J., Agyeman, K. D., Owusu-Mintah, C., & Asare, S. (2023). The use of visualization tools in teaching mathematics in college of education: A systematic review. *Open Access Research Journal of Science and Technology*. https://doi.org/10.53022/oarjst.2023.9.1.0057

Hakim, R. N., Suhendra, M., & Arifin, M. Z. (2025). Exploring the Role of Desmos in Mathematics Learning: Conceptual Understanding, Motivation, and Student Engagement. *Jurnal Gammath*, *10*(1), 1–9. https://ejurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/JPM/article/view/2902

Hasibuan, D., Asrul, A., & Siregar, M. A.P.. (2024). Pengaruh Penggunaan Aplikasi Desmos Graphing Calculator Terhadap Kemampuan Pemahaman Konsep Matematis Siswa. *Jurnal Arjuna : Publikasi Ilmu Pendidikan, Bahasa Dan Matematika*, *2*(5), 60–68. https://doi.org/10.61132/arjuna.v2i5.1177

Hidayat, R., Noor, W. N. W. M., Nasir, N., & Ayub, A. F. M. (2024). The Role Of Geogebra Software In Conceptual. *Infinity:Journal of Mathematics Education*, *13*(2), 317–332. https://doi.org/10.22460/infinity.v13i2.p317-332

Hidayati, A. N., & Murtiyasa, B. (2024). *Efektivitas Media Pembelajaran Geogebra Untuk*. *9*(2), 234–245.

Jablonski, S., & Ludwig, M. (2023). Teaching and Learning of Geometry—A Literature Review on Current Developments in Theory and Practice. In *Education Sciences*. https://doi.org/10.3390/educsci13070682

Lavicza, Z., Abar, C. A. A. P., & Tejera, M. (2023). Spatial geometric thinking and its articulation with the visualization and manipulation of objects in 3D. *Educação Matemática Pesquisa Revista Do Programa de Estudos Pós-Graduados Em Educação Matemática*. https://doi.org/10.23925/1983-3156.2023v25i2p258-277

Lubis, N.A., & Rahmadhani, E. (2023). ANALISIS KEMAMPUAN PEMAHAMAN KONSEP SISWA PADA MATERI PROGRAM LINIER. *AXIOM : Jurnal Pendidikan Dan Matematika*, *12*(2), 226–240.

Luhukay, A. S., Kodri, R. F., & Salman, A. N. M. (2025). Students' conceptual understanding of transformation geometry based on Van Hiele's level assisted by GeoGebra. *Alifmatika:*

Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran Matematika, *7*(1), 148–166. https://doi.org/10.35316/alifmatika.2025.v7i1.148-166

Naz, B., & Qayyum, A. (2025). Effectiveness of Problem-Solving as a Teaching Strategy in Enhancing Students' Conceptual Understanding and Critical Thinking in Mathematics Education. *Research Journal for Social Affairs*. https://doi.org/10.71317/rjsa.003.06.0500

Ningrum, D. P. N., Usodo, B., & Subanti, S. (2022). Students' Mathematical Conceptual Understanding: What Happens to Proficient Students? *AIP Conference Proceedings*. https://doi.org/10.1063/5.0116651

Rahmatika, A. (2025). Technology-Based Learning Innovation in Geometry Transformation Using the Desmos Application to Enhance Students' Visualization and Academic Achievement. *Journal of Computer Science, Information Technology and Telecommunication Engineering (JCoSITTE)*, *6*(2), 870–875. https://doi.org/10.30596/jcositte.v6i2.25555

Zhang, Y., Wang, P., Jia, W., Zhang, A., & Chen, G. (2025). Dynamic visualization by GeoGebra for mathematics learning: a meta-analysis of 20 years of research. In *Journal of Research on Technology in Education*. https://doi.org/10.1080/15391523.2023.2250886