



PENINGKATAN KEMAMPUAN BERPIKIR GEOMETRI SISWA SMA PADA FUNGSI TRIGONOMETRI MELALUI MODEL CRA BERBANTUAN DESMOS

Zahratul Didiniyah¹, Fiki Alghadari², Nurul Hidayah³
Universitas Jambi^{1,2,3}

Email : zahratuldidiniyah@gmail.com, fikialghadari@unja.ac.id, nurulhidayah@unja.ac.id

Diterima: 28/5/2026; Direvisi: 10/6/2026; Diterbitkan: 17/6/2026

ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh rendahnya kemampuan berpikir geometri siswa pada materi fungsi trigonometri. Siswa masih mengalami kesulitan memahami konsep geometri secara visual dan abstrak karena pembelajaran lebih berfokus pada hafalan rumus. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan peningkatan kemampuan berpikir geometri antara siswa yang belajar menggunakan model *Concrete-Representational-Abstract* (CRA) berbantuan Desmos dan siswa yang belajar melalui pembelajaran konvensional. Penelitian menggunakan metode *quasi experiment* dengan desain *pretest-posttest control group design*. Sampel penelitian terdiri dari 64 siswa kelas XI SMA Negeri 1 Tebo yang dibagi menjadi kelas eksperimen dan kelas kontrol. Instrumen penelitian berupa tes kemampuan berpikir geometri berdasarkan teori Van Hiele. Data dianalisis menggunakan uji normalitas, N-Gain, dan uji *Mann-Whitney*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata N-Gain kelas eksperimen sebesar 0,6102 lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol sebesar 0,2068. Uji *Mann-Whitney* memperoleh nilai signifikansi $0,000 < 0,05$ yang menunjukkan adanya perbedaan peningkatan kemampuan berpikir geometri antara kedua kelas. Dengan demikian, model CRA berbantuan Desmos lebih efektif dibandingkan pembelajaran konvensional.

Kata Kunci: *Kemampuan Berpikir Geometri, Concrete-Representational-Abstract (CRA), Desmos, Fungsi Trigonometri*

ABSTRACT

This study was motivated by the low level of students' geometric thinking skills in trigonometric function material. Students still face difficulties in understanding geometric concepts visually and abstractly because learning tends to focus on memorizing formulas. This study aimed to determine the difference in the improvement of geometric thinking skills between students taught using the *Concrete-Representational-Abstract* (CRA) model assisted by Desmos and those taught through conventional learning. The research employed a quasi-experimental method with a *pretest-posttest control group design*. The sample consisted of 64 eleventh-grade students of SMA Negeri 1 Tebo divided into an experimental class and a control class. The research instrument was a geometric thinking skills test based on Van Hiele theory. Data were analyzed using normality tests, N-Gain analysis, and the *Mann-Whitney* test. The results showed that the average N-Gain score of the experimental class was 0.6102, higher than the control class score of 0.2068. The *Mann-Whitney* test produced a significance value of $0.000 < 0.05$, indicating a significant difference between the two groups. Therefore, the CRA model assisted by Desmos was more effective than conventional learning in improving students' geometric thinking skills.

Keywords: *geometric thinking skills, Concrete-Representational-Abstract (CRA), Desmos, trigonometric functions*



PENDAHULUAN

Kemampuan berpikir geometri memegang peranan yang sangat vital dan strategis di dalam kurikulum matematika karena berkaitan erat dengan kapasitas visualisasi, penalaran spasial, serta kemandirian memecahkan masalah. Di era modern abad ke-21 ini, setiap peserta didik idealnya dituntut untuk memiliki ketajaman penalaran spasial yang matang agar mereka cakap dalam mengurai, menganalisis, serta mengonversi objek-objek ruang secara logis dan rasional. Penguasaan konsep geometri dasar yang kokoh tidak hanya menjadi kunci sukses akademik dalam ranah sains teoretis, melainkan juga berfungsi sebagai modalitas esensial yang sangat dibutuhkan manusia untuk mendukung kesiapan karier mereka di berbagai bidang industri teknologi (Abdullah & Fitri, 2026; Amalia & Fitri, 2026). Melalui skema pengajaran yang dirancang secara sistematis, para pelajar dibimbing secara terstruktur untuk menumbuhkan kekuatan kognitif tingkat tinggi sehingga mereka tidak sekadar menghafal sekumpulan rumus mati, melainkan mampu menghubungkan jaringan hubungan antar-konsep geometri dengan realitas kehidupan nyata di sekeliling mereka secara bermakna (Amalia & Fitri, 2026; Hasanah & Erman, 2026; Padmasari et al., 2026).

Namun demikian, terdapat jurang pemisah yang sangat lebar antara rumusan konseptual yang ideal tersebut dengan kenyataan objektif yang berlangsung di lapangan mengenai kualitas penalaran matematis siswa. Laporan asesmen berskala internasional secara konsisten menempatkan profil literasi numerasi para pelajar Indonesia pada peringkat bawah yang berada jauh di bawah ambang batas rata-rata global. Rendahnya kapasitas berpikir geometri ini umumnya dipicu oleh adopsi strategi pengajaran konvensional satu arah oleh guru yang cenderung kaku, monoton, serta mematkan metode hafalan rumus secara instan tanpa adanya proses eksplorasi makna (Anwar, 2020; Cesaria et al., 2021; Padmasari et al., 2026). Akibat dari minimnya ruang manipulasi objek dan kurangnya pemanfaatan visualisasi interaktif di dalam kelas, banyak anak yang mengalami disonansi kognitif serta salah dalam memahami karakteristik grafik yang abstrak. Fenomena kelesuan akademik ini memicu munculnya disfungsi kompetensi dasar yang berujung pada pasifnya partisipasi anak, rasa jenuh massal, serta rendahnya hasil evaluasi belajar siswa pada materi geometri tingkat menengah (Amalia & Fitri, 2026; Mokodompis et al., 2026; Tarigan, 2021).

Berdasarkan prinsip perkembangan kognitif, alur penalaran geometri manusia pada hakikatnya berkembang secara bertahap dan hierarkis, mulai dari tahapan pengenalan visual yang sederhana hingga kemampuan deduksi formal yang kompleks. Untuk menjembatani kesenjangan yang lebar tersebut, para praktisi pendidikan memandang perlu adanya sebuah terobosan metodologis kontemporer melalui penerapan model pengajaran *concrete-representational-abstract* (Azmi, 2025; Indriani, 2022; Khaerunnisa et al., 2020; Ruku et al., 2026). Pendekatan pedagogis yang terstruktur ini dirancang secara taktis untuk mengondisikan ekosistem kelas melalui tiga fase kronologis utama, yaitu manipulasi benda konkret secara langsung, representasi visual berbentuk gambar atau diagram grafis, serta penyelesaian masalah menggunakan simbol matematika abstrak. Melalui skema instruksional berbasis pengalaman empiris ini, beban kognitif anak dapat diminimalkan secara signifikan sehingga konsep yang rumit menjadi lebih mudah dicerna. Keunggulan model ini akan berjalan jauh lebih optimal apabila disinergikan secara khusus dengan penggunaan platform digital interaktif berbasis web seperti *Desmos* guna menyajikan visualisasi grafik fungsi trigonometri secara dinamis dan bergerak.

Kondisi distorsi budaya menalar dan belum optimalnya atmosfer eksplorasi visualisasi matematika tersebut terkonfirmasi secara nyata melalui pengamatan awal yang dilakukan di



SMA Negeri 1 Tebo pada tahun ajaran 2026/2027. Di dalam ruang kelas, tampak jelas bahwa subjek penelitian yang merupakan para siswa kelas XI senantiasa menghadapi kendala serius dan kesulitan besar ketika dituntut menguraikan sifat-sifat periodisitas fungsi trigonometri. Selama proses Kegiatan Belajar Mengajar berlangsung, subjek penelitian cenderung bersikap acuh tak acuh, pasif dalam forum diskusi, serta lebih sering menunggu arahan kaku dari guru ketimbang mencoba mengeksplorasi langkah penyelesaian secara mandiri. Fenomena darurat penalaran visual di SMA Negeri 1 Tebo pada tahun ajaran 2026/2027 ini diperkuat oleh banyaknya siswa yang melakukan kesalahan prosedural dalam menentukan titik balik atau amplitudo grafik, sehingga perolehan nilai sumatif mereka mayoritas berada di bawah batas ketuntasan minimal.

Berpijak pada seluruh rangkaian latar belakang dan pemetaan masalah di atas, kajian ilmiah ini hadir dengan membawa nilai kebaruan serta inovasi berupa eksperimentasi pengajaran spasial digital yang terukur. Nilai inovasi dari riset ini memfokuskan sasarannya pada implementasi model *concrete-representational-abstract* yang diintegrasikan secara khusus dengan asisten perangkat lunak *Desmos* untuk meretas hambatan abstrak siswa pada bab trigonometri. Fokus subjek penelitian ini diarahkan secara spesifik pada analisis perbedaan peningkatan kemampuan berpikir geometri antara kelompok siswa yang mendapatkan perlakuan model inovatif tersebut dengan kelompok pengajaran konvensional. Subjek penelitian dipusatkan secara penuh pada para pelajar kelas XI di SMA Negeri 1 Tebo pada tahun ajaran 2026/2027 guna membuktikan keefektifan strategi instruksional ini dalam merekonstruksi pemahaman konsep secara mendalam. Melalui pembuktian empiris yang komprehensif ini, luaran teoretis dari riset diharapkan mampu menyajikan sebuah formula solusi praktis dan rekomendasi taktis yang segar bagi guru matematika dalam mengelola kelas abad ke-21.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen semu (*quasi experiment*) untuk menguji efektivitas model instruksional inovatif pada materi matematika formal. Desain operasional yang dipilih di lapangan adalah *pretest-posttest control group design* guna mengukur perbedaan capaian kognitif antar kelompok subjek secara terstruktur tanpa melakukan manipulasi variabel di luar tatanan kelas. Kegiatan penelusuran empiris ini diselenggarakan di lingkungan SMA Negeri 1 Tebo, dengan pengerjaan data yang berjalan aktif sepanjang semester genap tahun ajaran 2025/2026. Peneliti memosisikan diri sebagai instrumen kunci yang melakukan penapisan data serta mengukur kemajuan berpikir spasial siswa secara mandiri. Penentuan sampel riset dioperasikan melalui teknik penarikan sampel bertujuan (*purposive sampling*) demi memperoleh data penalaran yang representatif. Berdasarkan skema seleksi tersebut, terjaring ukuran sampel total sebanyak 64 siswa kelas XI yang dibagi secara rata ke dalam 2 kelompok formal, yaitu kelas eksperimen sebanyak 32 siswa dan kelas kontrol sebanyak 32 siswa.

Prosedur pelaksanaan riset di lapangan digerakkan secara terpadu melalui pemberian tes kemampuan berpikir geometri yang dirancang secara kronologis. Alat bantu dan bahan utama yang dipergunakan selama operasional kelas meliputi perangkat komputer, lembar instrumen soal, serta platform aplikasi kalkulator grafik digital *Desmos* untuk menunjang visualisasi fungsi trigonometri secara dinamis pada sintaks *concrete-representational-abstract* (CRA). Paket instrumen tes dikembangkan dalam draf tertulis untuk mendeteksi hierarki penalaran siswa berdasarkan 4 tingkatan teori Van Hiele, yang meliputi level visualisasi,

analisis, deduksi informal, dan deduksi formal. Pengumpulan data kuantitatif dihimpun melalui sesi pengujian awal (*pretest*) sebelum program dimulai serta tes akhir (*posttest*) pasca-perlakuan selesai. Seluruh data angka numerik diolah menggunakan uji normalitas *Shapiro-Wilk*, kalkulasi indeks komponen *N-Gain*, serta uji statistik non-parametrik *Mann-Whitney* melalui program IBM SPSS Statistics 25 dengan format penulisan angka nyata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan peningkatan kemampuan berpikir geometri siswa pada materi fungsi trigonometri antara pembelajaran menggunakan model *Concrete-Representational-Abstract* (CRA) berbantuan Desmos dan pembelajaran konvensional. Penelitian dilakukan pada dua kelas, yaitu kelas eksperimen dan kelas kontrol yang masing-masing terdiri atas 32 siswa. Kelas eksperimen diberikan pembelajaran menggunakan model CRA berbantuan Desmos, sedangkan kelas kontrol menggunakan pembelajaran konvensional. Sebelum diberikan perlakuan, kedua kelas terlebih dahulu diberikan *pretest* untuk mengetahui kemampuan awal siswa. Setelah proses pembelajaran selesai, siswa diberikan *posttest* untuk mengetahui peningkatan kemampuan berpikir geometri. Selanjutnya, data dianalisis menggunakan perhitungan *N-Gain*, uji normalitas, dan uji *Mann-Whitney*.

1. Hasil Rata-rata Nilai *Pretest*, *Posttest*, dan *N-Gain*

Hasil rata-rata nilai *pretest*, *posttest*, dan *N-Gain* siswa pada kelas eksperimen dan kelas kontrol dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata Nilai *Pretest*, *Posttest*, dan *N-Gain*

Kelas	<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>	<i>N-Gain</i>
Eksperimen	35,94	75,00	0,6102
Kontrol	37,50	50,00	0,2068

Berdasarkan Tabel 1, rata-rata nilai *posttest* dan *N-Gain* kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Hal tersebut menunjukkan bahwa pembelajaran menggunakan model CRA berbantuan Desmos memberikan peningkatan kemampuan berpikir geometri yang lebih baik dibandingkan pembelajaran konvensional. Selanjutnya dilakukan uji normalitas terhadap data *N-Gain* untuk mengetahui apakah data berdistribusi normal atau tidak.

2. Hasil Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data *N-Gain* pada kedua kelas berdistribusi normal atau tidak. Uji normalitas dilakukan menggunakan uji *Shapiro-Wilk* dengan bantuan IBM SPSS *Statistics* 25 dengan hipotesis antara lain:

H_0 : Data tes kemampuan berpikir geometri siswa berdistribusi normal

H_1 : Data tes kemampuan berpikir geometri siswa tidak berdistribusi normal

Adapun kriteria pengujian sebagai berikut.

- Jika nilai signifikansi $\geq 0,05$ maka H_0 diterima, H_1 ditolak
- Jika nilai signifikansi $< 0,05$ maka H_0 ditolak, H_1 diterima

Hasil uji normalitas dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Normalitas *N-Gain*

Kelas	Sig.	Keterangan
Eksperimen	0,210	Normal
Kontrol	0,010	Tidak Normal

Berdasarkan Tabel 2, nilai signifikansi kelas eksperimen berdistribusi normal karena besar dari 0,05. Sedangkan nilai signifikansi kelas kontrol tidak berdistribusi normal karena kurang dari 0,05 sehingga data *N-Gain* tidak berdistribusi normal. Oleh karena itu, analisis dilanjutkan menggunakan uji *Mann-Whitney*.

3. Hasil Uji *Mann-Whitney*

Uji *Mann-Whitney* dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan peningkatan kemampuan berpikir geometri antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Hipotesis dirumuskan dalam bentuk hipotesis statistik (uji dua pihak) sebagai berikut:

a. Hipotesis statistik

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

b. Hipotesis penelitian

H_0 : Rata-rata *N-gain* kemampuan berpikir geometri antara siswa yang memperoleh pembelajaran menggunakan model CRA berbantuan Desmos sama dengan siswa yang memperoleh pembelajaran konvensional.

H_1 : Rata-rata *N-gain* kemampuan berpikir geometri antara siswa yang memperoleh pembelajaran menggunakan model CRA berbantuan Desmos tidak sama dengan siswa yang memperoleh pembelajaran konvensional.

Keterangan :

μ_1 : Rata-rata *N-gain* kemampuan berpikir geometri siswa yang memperoleh pembelajaran menggunakan model CRA berbantuan Desmos.

μ_2 : Rata-rata *N-gain* kemampuan berpikir geometri siswa yang memperoleh pembelajaran konvensional.

Adapun kriteria pengujian hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Jika nilai Sig. $\geq 0,05$ maka H_0 diterima, H_1 ditolak

b. Jika nilai Sig. $< 0,05$ maka H_0 ditolak, H_1 diterima

Hasil uji *Mann-Whitney* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji *Mann-Whitney* Data *N-Gain*

Statistik	Nilai
<i>Mann-Whitney U</i>	77,000
<i>Wilcoxon W</i>	605,000
<i>Z</i>	-5,866
<i>Asymp. Sig. (2-tailed)</i>	0,000

Berdasarkan Tabel 3, diperoleh nilai signifikansi (*Asymp. Sig. 2-tailed*) kurang dari 0,05. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan peningkatan kemampuan berpikir geometri yang signifikan antara siswa yang belajar menggunakan model *Concrete-Representational-Abstract* (CRA) berbantuan Desmos dan siswa yang belajar menggunakan pembelajaran konvensional. Dengan demikian, model CRA berbantuan Desmos lebih efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir geometri siswa pada materi fungsi trigonometri dibandingkan pembelajaran konvensional.

Pembahasan

Analisis deskriptif kuantitatif mengenai komparasi performa kognitif antara dua kelompok perlakuan menyingkap adanya dampak linear yang signifikan dari pembaruan model instruksional pada materi fungsi trigonometri. Sebelum adanya intervensi taktis, draf pengukuran awal melalui pretest menunjukkan bahwa kapasitas penalaran dasar geometri siswa pada kedua lini berada pada kondisi yang setara, yaitu dengan skor 35,94 untuk kelompok



eksperimen dan 37,50 untuk kelompok kontrol dari total 32 siswa per kelas. Setelah diberikan perlakuan, kelas eksperimen yang mengeksplorasi materi menggunakan skema tahap demi tahap berbantuan Desmos mencatatkan lompatan skor pasca-uji harian yang sangat impresif mencapai angka 75,00. Di sisi lain, kelas kontrol yang bertahan dengan pola pengajaran konvensional satu arah tertahan pada pencapaian skor posttest sebesar 50,00. Eskalasi numerik dari selisih kelulusan tersebut mengkristalkan indeks gain ternormalisasi kelas eksperimen pada angka 0,6102, sedangkan kelas pembandingan hanya memperoleh koefisien sebesar 0,2068. Data kuantitatif ini membuktikan secara nyata bahwa penataan lingkungan belajar aktif mampu mendegradasi kebiasaan menghafal teks secara pasif di sekolah (Haq & Darajat, 2026; Pramudianti et al., 2023; Tias et al., 2020).

Fase krusial berikutnya dalam menetapkan jenis pengujian hipotesis diselesaikan melalui pemrosesan instrumen uji asumsi dasar sebaran normal menggunakan metode statistik *shapiro-wilk*. Pangkalan data komputer merekam ketidakkonsistenan sebaran di mana nilai signifikansi kelompok eksperimen bertengger pada koordinat 0,210 yang posisinya berada di atas ambang batas minimal kriteria 0,05 sehingga dinyatakan berdistribusi normal. Namun, kelompok kontrol memproyeksikan parameter signifikansi marjinal yang sangat rendah yaitu sebesar 0,010 yang berarti tidak berdistribusi secara normal. Adanya pelanggaran prasyarat pembagian varians pada salah satu kelompok mengharuskan tim peneliti meninggalkan pemodelan parametrik dan beralih mengoperasikan analisis non-parametrik menggunakan teknik uji dua pihak *mann-whitney u*. Langkah antisipasi metodologis ini penting dioptimalkan guna menjaga keabsahan pelaporan ilmiah serta meminimalkan potensi timbulnya bias galat hitung, sehingga draf kesimpulan riset yang ditarik dari lapangan memiliki tingkat presisi dan reliabilitas tinggi untuk dievaluasi ulang oleh praktisi kependidikan nasional (Ardiansyah et al., 2023; Tiani et al., 2025; Zaluchu, 2021).

Akselerasi kapasitas berpikir geometri siswa yang mendapatkan perlakuan khusus divalidasi secara kokoh oleh ketajaman draf kalkulasi pengujian non-parametrik serempak. Hasil pemrosesan data komputasi merekam nilai statistik *mann-whitney u* terkumpul sebesar 77,000 dengan akumulasi nilai peringkat bertanda *wilcoxon w* mencapai level koordinat 605,000. Derajat keragaman dan kekuatan hubungan mekanis ini dipertegas oleh perolehan nilai z hitung sebesar minus 5,866 yang disertai oleh raihan parameter signifikansi asimtotik dua arah sebesar 0,000. Karena nilai probabilitas kriteria *p-value* tersebut berada jauh di bawah kriteria standar 0,05, maka keputusan hukum statistik menetapkan bahwa hipotesis nol ditolak secara mutlak. Kesimpulan empiris ini memberikan penegasan teoretis bahwa integrasi visualisasi digital dinamis memberikan kontribusi langsung yang superior terhadap modifikasi struktur kognitif anak. Siswa terbantu melewati fase perkembangan visualisasi menuju deduksi formal secara mulus karena dibekali instrumen taktil interaktif yang merangsang keterlibatan mental mereka sepanjang jam pelajaran (Agustina & Fitri, 2026; Amalia & Fitri, 2026; Hatira & Saraç, 2024; Nur et al., 2026; Pittalis et al., 2024).

Secara pedagogis, efikasi model pengajaran bertingkat yang diawali dari manipulasi objek nyata, visualisasi representatif, hingga formulasi simbol abstrak ini memberikan implikasi praktis yang luas bagi kurikulum matematika. Pemanfaatan platform Desmos bertindak sebagai jembatan konseptual yang efektif mereduksi beban kognitif siswa saat harus membedakan amplitudo, periode, maupun pergeseran grafik fungsi trigonometri yang rumit. Karakteristik visual yang interaktif memicu ketahanan mental anak untuk menguji berbagai kemungkinan koordinat secara mandiri, sehingga menumbuhkan motivasi intrinsik dan rasa percaya diri dalam menyelesaikan tugas kelompok tanpa bergantung sepenuhnya pada arahan



guru. Transformasi kesadaran metakognitif ini mengubah atmosfer ruang kelas menjadi laboratorium berpikir kritis yang aktif dan sehat (Apriyanto et al., 2025; Darmawan et al., 2020; Juraidah & Hartoyo, 2022; Lestari, 2022). Penemuan konsep secara otonom terbukti menghasilkan retensi memori jangka panjang yang lebih stabil, sekaligus memberikan return pedagogis yang tinggi bagi peningkatan mutu literasi numerasi dasar siswa sekolah menengah atas dalam menghadapi tantangan kurikulum merdeka yang menuntut kecakapan penalaran logis tingkat tinggi.

Meskipun menorehkan rekapitulasi angka pertumbuhan yang sangat memuaskan, penelitian tindakan eksperimen ini tetap memiliki beberapa catatan keterbatasan metodologis yang wajib diperhatikan demi kesempurnaan riset masa depan. Ruang lingkup penarikan subjek yang sempit karena hanya melibatkan masing-masing 32 siswa pada satu angkatan kelas eksperimen dan kontrol menyebabkan tingkat generalisasi temuan ini masih bersifat lokal. Selain itu, riset ini belum mengukur pengaruh stabilitas penguasaan konsep matematika anak dalam kurun waktu jangka panjang pasca-intervensi salin dihentikan. Rekomendasi strategis untuk langkah kajian berikutnya adalah menerapkan desain eksperimen longitudinal terstruktur yang melibatkan klaster sampel lintas kabupaten secara masif serta mengintegrasikan pangkalan data digital. Penambahan variabel pemoderat berupa tingkat kecerdasan emosional atau prestasi rapor awal juga sangat disarankan guna menaikkan akurasi serta presisi pemodelan prediksi kurikulum nasional secara menyeluruh di masa depan. Sinergi ini penting demi mewujudkan pelayanan bimbingan edukasi yang inklusif.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa implementasi model *concrete-representational-abstract* berbantuan aplikasi *desmos* terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir geometri siswa sekolah menengah atas pada materi fungsi trigonometri. Pendekatan instruksional yang runtut dan bertahap ini berhasil menggeser paradigma belajar dari pola hafalan rumus konvensional yang kaku menjadi aktivitas penalaran spasial yang bermakna. Visualisasi grafik yang dinamis melalui kalkulator digital sukses meminimalkan beban kognitif siswa dalam mengidentifikasi perubahan amplitudo, periodisitas, serta pergeseran koordinat fungsi yang abstrak. Berdasarkan hasil analisis statistik non-parametrik, kelompok eksperimen mencatatkan lompatan pertumbuhan kapasitas kognitif dan ketajaman penalaran visual yang superior dibandingkan kelompok kontrol. Dengan demikian, integrasi teknologi asisten ini tervalidasi andal dalam memandu siswa melewati hierarki tahapan berpikir teori *van hiele* secara mulus dan otonom.

Peneliti selanjutnya disarankan untuk menerapkan metode penelitian eksperimen murni dengan desain *longitudinal* terstruktur guna melacak stabilitas retensi memori jangka panjang siswa setelah periode intervensi berakhir. Ukuran penarikan sampel hendaknya diperluas secara masif dengan melibatkan klaster populasi subjek yang lebih heterogen di berbagai kabupaten untuk menaikkan derajat generalisasi data empiris. Riset ke depan juga perlu menguji efektivitas model ini pada topik matematika formal lainnya yang sarat akan visualisasi spasial, seperti geometri dimensi tiga atau kalkulus. Penambahan variabel pemoderat seperti tingkat kecerdasan emosional awal, minat belajar, atau indeks literasi digital keluarga sangat direkomendasikan demi meningkatkan presisi model prediksi kurikulum nasional yang adaptif dan inklusif. Sinergi pengembangan pangkalan data digital interaktif juga patut dioptimalkan untuk memantau grafik perkembangan kompetensi numerasi siswa secara berkala.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., & Fitri, A. W. (2026). Squid shape game: Media edukatif pengenalan bentuk geometri anak usia dini. *LEARNING Jurnal Inovasi Penelitian Pendidikan Dan Pembelajaran*, 6(2), 1457–1470. <https://doi.org/10.51878/learning.v6i2.10265>
- Agustina, Y., & Fitri, A. W. (2026). Labirin edukatif untuk pengenalan angka 1-20 anak usia 5-6 tahun. *LEARNING Jurnal Inovasi Penelitian Pendidikan Dan Pembelajaran*, 6(2), 1471–1481. <https://doi.org/10.51878/learning.v6i2.10729>
- Amalia, A., & Fitri, A. W. (2026). Optimalisasi pengenalan geometri anak usia dini melalui media puzzle. *LEARNING Jurnal Inovasi Penelitian Pendidikan Dan Pembelajaran*, 6(2), 1435–1444. <https://doi.org/10.51878/learning.v6i2.10205>
- Anwar, A. (2020). Identifikasi tingkat berpikir geometri siswa berdasarkan teori van hiele. *Jurnal Pendidikan Matematika (JUDIKA EDUCATION)*, 3(2), 85–92. <https://doi.org/10.31539/judika.v3i2.1616>
- Apriyanto, A., Haddar, G. A., Mardiaty, M., & Sitepu, E. (2025). Pengaruh self-regulated learning terhadap kemampuan berpikir kritis siswa di indonesia. *Sanskara Pendidikan dan Pengajaran*, 3(2), 70–80. <https://doi.org/10.58812/spp.v3i02.561>
- Ardiansyah, A., Risnita, R., & Jailani, M. (2023). Teknik pengumpulan data dan instrumen penelitian ilmiah pendidikan pada pendekatan kualitatif dan kuantitatif. *Jurnal IHSAN Jurnal Pendidikan Islam*, 1(2), 1–9. <https://doi.org/10.61104/ihsan.v1i2.57>
- Azmi, M. P. (2025). Pendekatan concrete representational abstract (CRA) dan aplikasi praktis dalam pembelajaran matematika sekolah. *Jurnal Cendekia Jurnal Pendidikan Matematika*, 9(1), 90–104. <https://doi.org/10.31004/cendekia.v9i1.3836>
- Cesaria, A., Herman, T., & Dahlan, J. A. (2021). Level berpikir geometri peserta didik berdasarkan teori van hiele pada materi bangun ruang sisi datar. *Jurnal Elemen*, 7(2), 267–279. <https://doi.org/10.29408/jel.v7i2.2898>
- Darmawan, E., Zubaidah, S., Ristanto, R. H., Zamzami, M. R. A., & Wahono, B. (2020). Simas Eric learning model (SELM): Enhance student' metacognitive skill based on the academic level. *International Journal of Instruction*, 13(4), 623–642. <https://doi.org/10.29333/iji.2020.13439a>
- Haq, R. F., & Darajat, A. (2026). Strategi pembelajaran questioning dalam meningkatkan keaktifan belajar dan pemahaman materi PPKn di SMP Negeri 6 Garut. *JIIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 9(1), 463–469. <https://doi.org/10.54371/jiip.v9i1.10317>
- Hasanah, N. N., & Erman, E. (2026). Pembelajaran IPA berbasis guided inquiry untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis murid SMP. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika Dan IPA*, 6(2), 1013–1025. <https://doi.org/10.51878/science.v6i2.9864>
- Hatira, A., & Saraç, M. (2024). Touch to learn: A review of haptic technology's impact on skill development and enhancing learning abilities for children. *Advanced Intelligent Systems*, 6(6), Artikel 2300731. <https://doi.org/10.1002/aisy.202300731>
- Indriani, L. R. (2022). Penerapan pendekatan concrete representational abstract (CRA) pada muatan pelajaran matematika di sekolah dasar. *Kalam Cendekia Jurnal Ilmiah Kependidikan*, 10(2), 409–409. <https://doi.org/10.20961/jkc.v10i2.65663>
- Juraidah, J., & Hartoyo, A. (2022). Peran guru dalam menumbuhkembangkan kemandirian belajar dan kemampuan berpikir kritis siswa sekolah dasar melalui proyek penguatan profil pelajar pancasila. *JURNAL PENDIDIKAN DASAR PERKHASA*



- Jurnal Penelitian Pendidikan Dasar*, 8(2), 105–118.
<https://doi.org/10.31932/jpdp.v8i2.1719>
- Khaerunnisa, E., Santosa, C. A. H. F., & Novaliyosi, N. (2020). Model pembelajaran concrete representational abstract (CRA) terhadap kemampuan pemahaman konsep calon guru matematika. *Kreano Jurnal Matematika Kreatif-Inovatif*, 11(2), 118–125.
<https://doi.org/10.15294/kreano.v11i2.21652>
- Lestari, E. S. (2022). Model pembelajaran konstruktivis metakognitif untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis. *Jurnal Basicedu*, 6(2), 2647–2653.
<https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i2.2469>
- Mokodompis, R. R., Husain, R. I., Aries, N. S., Marshanawiah, A., & Mahniar, A. (2026). Penggunaan media geoboard untuk meningkatkan hasil belajar siswa materi persegi dan persegi panjang di SD. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika Dan IPA*, 6(1), 328–342. <https://doi.org/10.51878/science.v6i1.9373>
- Nur, R. R. S., Pulukadang, W. T., Husain, R., Monoarfa, F., & Katili, S. (2026). Meningkatkan kemampuan berbicara melalui media pembelajaran roda berputar pada siswa kelas IV SD Negeri 8 Suwawa Kabupaten Bone Bolango. *LEARNING Jurnal Inovasi Penelitian Pendidikan Dan Pembelajaran*, 6(1), 300–311.
<https://doi.org/10.51878/learning.v6i1.8908>
- Padmasari, N. N., Muhtarom, M., & Harun, L. (2026). Analisis proses berpikir spasial siswa dalam menyelesaikan permasalahan geometri dengan konteks budaya masjid agung demak. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika Dan IPA*, 6(2), 1121–1134. <https://doi.org/10.51878/science.v6i2.10446>
- Pittalis, M., Sproesser, U., Demosthenous, E., & Odysseos, E. (2024). Enhancing functional thinking in grade 5–6 students through a dynamic mathematics intervention program. *Education and Information Technologies*, 30(2), 1329–1361.
<https://doi.org/10.1007/s10639-024-12865-y>
- Pramudianti, M., Huda, C., Kusumaningsih, W., & Wati, C. E. (2023). Kefektifan implementasi pembelajaran berdiferensiasi pada muatan pelajaran PPKn siswa sekolah dasar. *Jurnal Basicedu*, 7(2), 1315–1322. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v7i2.4978>
- Ruku, I. A. P., Kudus, K., Aries, N. S., Marshanawiah, A., & Pakaya, W. C. (2026). Meningkatkan hasil belajar siswa melalui model problem based learning (PBL) berbantuan media papan jurang pada materi penjumlahan dan pengurangan bilangan cacah di kelas II. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika Dan IPA*, 6(1), 272–287. <https://doi.org/10.51878/science.v6i1.9369>
- Tarigan, F. D. (2021). Pengembangan mediavisual outdoor untuk kemampuan mengenal bentuk geometri pada anak usia 4-5 tahun. *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran*, 4(1), 134–140. <https://doi.org/10.31004/jrpp.v4i1.1868>
- Tiani, A. M., Maulani, A., Iryani, H. D., Fitriani, S., Hidayatullah, R., & Harmonedi, H. (2025). Telaah kesalahan kesalahan prosedur penelitian pendidikan. *Jurnal QOSIM Jurnal Pendidikan Sosial & Humaniora*, 3(2), 762–768.
<https://doi.org/10.61104/jq.v3i2.1115>
- Tias, I. W. U., Putri, B. D., & Pratiwi, D. (2020). Pengaruh strategi pembelajaran aktif tipe index card match terhadap hasil belajar peserta didik di sekolah dasar. *Jurnal Basicedu*, 4(4), 1315–1325. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v4i4.553>
- Zaluchu, S. E. (2021). Metode penelitian di dalam manuskrip jurnal ilmiah keagamaan. *Jurnal Teologi Berita Hidup*, 3(2), 249–266. <https://doi.org/10.38189/jtbh.v3i2.93>