



Model Konflik Kognitif Konseptual Berbasis Visualisasi Dinamis (Model KKVD) untuk Meningkatkan Pemahaman Konseptual Transformasi Geometri

Firdaus Adji Saputro*, Ibrahim Sani Ali Manggala, Rosmaiyadi, Anwas Mashuri, Muhammad Nurwahid

Mahasiswa S3 Pendidikan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Malang, Malang

firdaus.adji.2503119@students.um.ac.id

Abstract

This study develops and examines the initial effectiveness of the Conceptual Cognitive Conflict Model Based on Dynamic Visualization (KKVD Model) for improving students' conceptual understanding of geometric transformations. Initial effectiveness is defined here as the model's capacity to produce statistically and practically significant differences in learning outcomes during a small-scale field trial, prior to broader dissemination. Using a Research and Development (R&D) design adapted from Thiagarajan's 4D model (limited to the Develop phase), followed by a quasi-experimental field trial, the KKVD Model was validated by three experts (mean score 87.7%, Very Valid). The experimental group ($n = 20$) and control group ($n = 20$) consisted of Grade XI students from SMK Widyagama Malang, selected through purposive sampling based on comparable prior achievement and class availability. The experimental group's mean posttest score (81.46) significantly exceeded the control group (72.29), with N-Gain of 0.70 (high) versus 0.54 (medium), and a large effect size (Cohen's $d = 1.12$; $p < 0.001$). The most substantial improvements occurred in the conceptual relations and generalization dimensions, reflecting deeper conceptual restructuring. The KKVD Model systematically integrates cognitive conflict, GeoGebra-based dynamic visualization, and conceptual reconstruction into a validated instructional syntax, offering a promising alternative for meaningful geometry transformation learning.

Keywords: conceptual cognitive conflict; dynamic visualization; geometric transformation; conceptual understanding; conceptual change

Abstrak

Penelitian ini mengembangkan dan menguji efektivitas awal Model Konflik Kognitif Konseptual Berbasis Visualisasi Dinamis (Model KKVD) dalam meningkatkan pemahaman konseptual transformasi geometri. Efektivitas awal yang dimaksud adalah kapasitas model untuk menghasilkan perbedaan capaian belajar yang bermakna secara statistik dan praktis pada uji coba lapangan skala terbatas, sebelum diseminasi yang lebih luas. Penelitian mengadopsi desain Research and Development (R&D) dari model 4D Thiagarajan, dilanjutkan kuasi-eksperimen dengan kelompok eksperimen ($n = 20$) dan kontrol ($n = 20$) dari siswa kelas XI SMK Widyagama Malang yang dipilih melalui purposive sampling. Model KKVD divalidasi oleh tiga ahli dengan rata-rata 87,7% (kategori Sangat Valid). Rata-rata posttest kelompok eksperimen (81,46) secara signifikan lebih tinggi daripada kelompok kontrol (72,29), dengan N-Gain 0,70 (tinggi) dan effect size Cohen's $d = 1,12$ (besar; $p < 0,001$). Peningkatan terbesar terjadi pada dimensi relasi konseptual dan generalisasi, yang mencerminkan keberhasilan restrukturisasi konseptual mendalam. Model KKVD mengintegrasikan konflik kognitif, visualisasi dinamis berbasis GeoGebra, dan rekonstruksi konseptual ke dalam satu sintaks pembelajaran yang tervalidasi.

Kata Kunci: konflik kognitif konseptual; visualisasi dinamis; transformasi geometri; pemahaman konseptual; perubahan konseptual

1. PENDAHULUAN

Transformasi geometri merupakan salah satu topik sentral dalam kurikulum matematika sekolah menengah yang memiliki kedudukan strategis sebagai jembatan antara geometri visual dan aljabar koordinat. Pemahaman yang memadai terhadap transformasi geometri tidak hanya menopang penguasaan materi lanjutan, tetapi juga mengembangkan kemampuan penalaran spasial yang fundamental dalam literasi matematis (Hollebrands, 2003; Panorkou & Kılıç, 2021). Namun, berbagai kajian menunjukkan bahwa pembelajaran transformasi geometri di sekolah menengah masih didominasi pendekatan prosedural yang mengutamakan hafalan rumus dan manipulasi koordinat tanpa membangun pemahaman relasional yang mendalam (Leikin et al., 2021; Drijvers et al., 2021).

Permasalahan pemahaman konseptual siswa pada transformasi geometri bersifat persisten dan telah terdokumentasi secara luas dalam literatur. Pada konteks penelitian ini, studi pendahuluan yang dilakukan terhadap siswa kelas XI SMK Widyagama Malang melalui asesmen diagnostik awal menunjukkan bahwa sebagian besar siswa (sekitar 70%) belum mampu menjelaskan hubungan logis antara objek dan bayangannya, serta kesulitan merumuskan aturan umum transformasi geometri secara mandiri. Siswa cenderung keliru menentukan arah dan pusat rotasi, memahami perubahan koordinat semata sebagai manipulasi angka tanpa makna geometris, menginterpretasikan refleksi hanya sebagai pembalikan bentuk, serta mengabaikan peran pusat dan faktor skala dalam dilatasi (Panorkou & Kılıç, 2021; Jupri et al., 2020). Miskonsepsi ini tidak mudah dikoreksi melalui latihan prosedural berulang, karena akar permasalahannya bersifat konseptual, bukan prosedural.

Teori perubahan konseptual menegaskan bahwa restrukturisasi konsep yang salah memerlukan kondisi epistemik tertentu: siswa harus tidak puas dengan konsepsi awalnya, dan konsep baru harus tampak lebih dapat dipahami, lebih masuk akal, serta lebih produktif (Posner et al., 1982). Konflik kognitif, sebagai salah satu mekanisme utama perubahan konseptual, bekerja dengan menciptakan disequilibrium antara prediksi siswa dan bukti empiris yang disajikan (Limón, 2001; Tippet, 2010). Meskipun demikian, konflik kognitif yang tidak dikelola dengan baik berpotensi menimbulkan kebingungan alih-alih pemahaman, sehingga memerlukan struktur pembelajaran yang sistematis untuk memandu rekonstruksi konseptual (Lee et al., 2020).

Visualisasi dinamis berbasis Dynamic Geometry Environment (DGE), khususnya GeoGebra, menawarkan potensi pedagogis yang signifikan dalam konteks ini. GeoGebra memungkinkan siswa mengamati secara langsung perubahan geometris akibat manipulasi parameter, sehingga memperjelas hubungan antara prediksi konseptual dan representasi formal (Leung et al., 2013; Sinclair et al., 2016). Drijvers et al. (2021) dan

Trocki & Hollebrands (2018) menunjukkan bahwa eksplorasi dinamis dalam DGE memfasilitasi pemahaman relasional yang lebih dalam dibandingkan representasi statis. Selain itu, Lisarini et al. (2023) menemukan bahwa integrasi GeoGebra dalam pembelajaran geometri secara signifikan meningkatkan kemampuan pemahaman konseptual siswa di Indonesia.

Kajian literatur mutakhir mengungkap dua arus penelitian yang berkembang secara paralel namun belum banyak diintegrasikan. Pertama, penelitian tentang konflik kognitif sebagai strategi perubahan konseptual (Lee et al., 2020; Tippet, 2010; Limón, 2001). Kedua, penelitian tentang pemanfaatan GeoGebra dan DGE dalam pembelajaran geometri (Leung et al., 2013; Sinclair et al., 2016; Drijvers et al., 2021). Kesenjangan penelitian (research gap) tersebut menjadi landasan novelty penelitian ini. Berbeda dari penelitian sebelumnya, penelitian ini mengintegrasikan konflik kognitif, visualisasi dinamis berbasis GeoGebra, kesadaran ketidaksesuaian konseptual, rekonstruksi konseptual, dan generalisasi ke dalam satu sintaks pembelajaran yang sistematis dan tervalidasi, yang disebut Model Konflik Kognitif Konseptual Berbasis Visualisasi Dinamis (Model KKVD).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan: (1) mengembangkan Model KKVD yang valid untuk meningkatkan pemahaman konseptual transformasi geometri siswa sekolah menengah, dan (2) menguji efektivitas awal Model KKVD dalam uji coba lapangan skala terbatas. Efektivitas awal dalam konteks penelitian ini merujuk pada kemampuan model untuk menghasilkan perbedaan capaian belajar yang bermakna secara statistik dan praktis pada kelompok kecil sebelum dilakukan diseminasi yang lebih luas, khususnya pada dimensi relasi konseptual dan generalisasi yang secara konseptual paling mendasar.

2. METODE PELAKSANAAN

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain Research and Development (R&D) yang diadaptasi dari model 4D Thiagarajan (Thiagarajan et al., 1974), dibatasi hingga tahap Develop, yang mencakup empat fase: (1) Define (analisis kebutuhan dan analisis konsep), (2) Design (perancangan model dan instrumen), (3) Develop (validasi ahli dan revisi), dan (4) uji lapangan terbatas. Pembatasan pada tahap Develop dilakukan secara sadar karena fokus penelitian ini adalah pengembangan dan validasi model, bukan diseminasi skala penuh.

Uji efektivitas awal dilaksanakan menggunakan desain nonequivalent control group design, karena peneliti tidak melakukan randomisasi individual terhadap peserta, melainkan menggunakan kelas yang telah tersedia (intact class). Desain ini merupakan salah satu bentuk kuasi-eksperimen yang umum digunakan dalam penelitian pendidikan ketika randomisasi penuh tidak memungkinkan (Creswell & Creswell, 2018).

2.2 Subjek dan Konteks Penelitian

Subjek penelitian adalah siswa kelas XI SMK Widyagama Malang yang dipilih melalui purposive sampling dengan kriteria sebagai berikut: (1) siswa berada pada kelas yang sedang mempelajari materi transformasi geometri sesuai jadwal kurikuler; (2) kedua kelas memiliki kemampuan awal yang setara berdasarkan nilai rata-rata matematika semester sebelumnya (tidak terdapat perbedaan signifikan; $p > 0,05$ pada uji pretest); dan (3) kepala sekolah dan guru mata pelajaran memberikan izin serta bersedia berkolaborasi selama pelaksanaan penelitian. Kelompok eksperimen terdiri atas 20 siswa yang memperoleh pembelajaran dengan Model KKVD, dan kelompok kontrol terdiri atas 20 siswa yang memperoleh pembelajaran konvensional.

Jumlah subjek yang tergolong kecil ($N = 40$) merupakan konsekuensi desain uji coba lapangan skala terbatas (small-scale field testing), yang bertujuan memperoleh bukti empiris awal tentang efektivitas model sebelum dilakukan uji lapangan yang lebih luas. Oleh karena itu, temuan penelitian ini tidak dimaksudkan untuk digeneralisasikan secara luas, melainkan sebagai dasar empiris bagi pengembangan penelitian lanjutan.

2.3 Prosedur Pengembangan Model KKVD

Pengembangan Model KKVD dilaksanakan melalui empat tahap yang diadaptasi dari model 4D. Pertama, tahap Define mencakup analisis kebutuhan melalui observasi pembelajaran, identifikasi miskonsepsi siswa melalui asesmen diagnostik awal, dan analisis kurikulum transformasi geometri. Kedua, tahap Design mencakup perancangan sintaks Model KKVD (lima fase), penyusunan bahan ajar berbasis GeoGebra, dan pengembangan instrumen tes pemahaman konsep. Ketiga, tahap Develop mencakup validasi ahli terhadap model dan instrumen, dilanjutkan revisi berdasarkan masukan validator. Keempat, tahap uji lapangan terbatas mencakup implementasi Model KKVD pada kelompok eksperimen selama delapan pertemuan (2×45 menit).

Sintaks Model KKVD terdiri atas lima fase yang saling terhubung secara pedagogis: (1) Prediksi Konseptual—siswa membuat prediksi bayangan transformasi berdasarkan konsepsi awal mereka; (2) Konfrontasi Visual-Dinamis—prediksi dikonfrontasikan dengan visualisasi aktual melalui GeoGebra untuk menciptakan konflik kognitif eksplisit; (3) Kesadaran Ketidaksesuaian—siswa dibimbing menganalisis sumber kesenjangan antara prediksi dan kenyataan; (4) Rekonstruksi Konseptual—siswa memanipulasi parameter GeoGebra untuk membangun pemahaman relasional secara aktif; dan (5) Refleksi dan Generalisasi—siswa merumuskan aturan umum dan mentransfer konsep ke konteks baru.

Tabel 1. Sintaks Model Konflik Kognitif Konseptual Berbasis Visualisasi Dinamis (Model KKVD) beserta Aktivitas Guru dan Siswa

Fase	Tujuan Pedagogis	Aktivitas Guru	Aktivitas Siswa
Fase 1: Prediksi Konseptual	Mengaktifkan konsepsi awal;	Menyajikan masalah terbuka tentang	Membuat prediksi bayangan transformasi

	mengekspresikan miskonsepsi secara eksplisit	transformasi geometri; meminta siswa menggambar bayangan objek tanpa alat bantu; mendorong eksplorasi prediksi verbal dan tertulis	secara mandiri berdasarkan intuisi; mencatat alasan prediksi; mendiskusikan prediksi dalam kelompok kecil
Fase 2: Konfrontasi Visual-Dinamis	Menciptakan disequilibrium kognitif melalui bukti visual konkret	Menampilkan animasi GeoGebra yang memperlihatkan hasil transformasi sesungguhnya; memfasilitasi diskusi perbandingan antara prediksi dan hasil aktual; mengajukan pertanyaan probing	Membandingkan prediksi dengan hasil GeoGebra; mengidentifikasi ketidaksesuaian; mengungkapkan respons kognitif terhadap konflik yang dialami
Fase 3: Kesadaran Ketidakesuaian	Membimbing refleksi kritis terhadap sumber miskonsepsi	Membimbing analisis sumber kesalahan melalui pertanyaan reflektif; menyediakan scaffolding untuk identifikasi konsep yang keliru; mengarahkan diskusi kelas tentang penyebab miskonsepsi	Menganalisis dan mengartikulasikan sumber kesenjangan antara prediksi dan kenyataan; mendiskusikan konsep yang masih dipahami keliru; mencatat temuan dari proses refleksi
Fase 4: Rekonstruksi Konseptual	Membangun pemahaman relasional melalui eksplorasi aktif berbasis GeoGebra	Memberikan lembar kerja eksplorasi GeoGebra yang terstruktur; memfasilitasi manipulasi parameter (pusat rotasi, faktor skala, sumbu refleksi); memberikan umpan balik formatif selama eksplorasi	Memanipulasi parameter transformasi secara aktif dalam GeoGebra; mengobservasi pola hubungan antara parameter dan hasil transformasi; membangun pemahaman relasional melalui eksplorasi mandiri
Fase 5: Refleksi & Generalisasi	Mendorong transfer konsep dan perumusan prinsip umum transformasi geometri	Memfasilitasi diskusi kelas tentang pola yang ditemukan; mendorong perumusan aturan umum; menyajikan konteks baru untuk transfer konsep; mengkonsolidasikan pemahaman melalui tanya jawab	Merumuskan aturan umum transformasi berdasarkan pola yang ditemukan; mengaplikasikan konsep pada situasi baru yang berbeda konteks; mempresentasikan generalisasi kepada kelas

2.4 Instrumen Penelitian

Instrumen utama adalah tes pemahaman konsep transformasi geometri berbasis rubrik analitik yang mengukur enam indikator dalam tiga dimensi: (1) Representasi Matematis [R1: visualisasi; R2: notasi koordinat], (2) Relasi Konseptual [L1: relasi objek-bayangan; L2: sifat invarian], dan (3) Generalisasi [G1: perumusan aturan umum; G2: transfer

konsep]. Setiap indikator diberi skor 0–4, dengan skor maksimum 24 yang dikonversi ke skala 0–100.

Tabel 2. Indikator Penilaian dan Rubrik Analitik Pemahaman Konsep Transformasi Geometri

Dimensi	Kode	Deskripsi Indikator	Skor	Kategori
Representasi Matematis	R1	Memvisualisasikan hasil transformasi secara tepat dan akurat	0–4	Visualisasi
	R2	Menyajikan perubahan koordinat melalui notasi matematis atau tabel koordinat	0–4	Koordinat
Relasi Konseptual	L1	Menjelaskan relasi logis antara objek dan bayangannya dengan pemahaman mendalam	0–4	Relasi
	L2	Mengidentifikasi sifat invarian transformasi (jarak, bentuk, orientasi, sudut)	0–4	Invarian
Generalisasi	G1	Merumuskan aturan umum atau pola transformasi berdasarkan eksplorasi sistematis	0–4	Aturan
	G2	Menerapkan konsep transformasi pada situasi baru dengan strategi yang tepat	0–4	Transfer

2.5 Validitas dan Reliabilitas Instrumen

Instrumen divalidasi secara konten oleh tiga ahli pendidikan matematika yang mencakup aspek kesesuaian teoritis model, koherensi sintaks, ketepatan bahan ajar, dan kelengkapan instrumen penilaian. Untuk menjamin ketepatan pengukuran, uji validitas empiris butir soal dilakukan melalui analisis korelasi item-total dengan Pearson correlation coefficient, yang melibatkan 30 siswa kelas XI di luar sampel penelitian sebagai responden uji coba instrumen. Setiap butir soal yang termasuk dalam enam indikator pemahaman konsep dianalisis korelasinya terhadap skor total instrumen. Butir soal dinyatakan valid apabila $r_{\text{hitung}} > r_{\text{tabel}}$ (dengan $\alpha = 0,05$) dan nilai signifikansi $p < 0,05$. Selanjutnya, reliabilitas instrumen diukur menggunakan Cronbach's Alpha untuk menguji konsistensi internal setiap dimensi pemahaman konsep dan instrumen secara keseluruhan; instrumen dikategorikan reliabel apabila $\alpha \geq 0,70$ (Nunnally, 1978). Kategori penilaian validitas mengacu pada kriteria Riduwan (2013): 81%–100% = Sangat Valid; 61%–80% = Valid; 41%–60% = Cukup Valid; 21%–40% = Kurang Valid; < 21% = Tidak Valid.

2.6 Teknik Analisis Data

Analisis data mencakup: (1) statistik deskriptif (mean, standar deviasi, nilai minimum dan maksimum) untuk pretest dan posttest kedua kelompok; (2) N-Gain ternormalisasi (Hake, 1998) untuk mengukur tingkat peningkatan pembelajaran dengan kategori: tinggi ($\geq 0,70$), sedang (0,30–0,69), dan rendah ($< 0,30$); (3) uji normalitas Shapiro-Wilk dan uji homogenitas Levene's Test sebagai prasyarat statistik parametrik; (4) uji hipotesis

menggunakan independent sample t-test ($\alpha = 0,05$); serta (5) perhitungan effect size Cohen's d dengan kategori kecil ($d < 0,50$), sedang ($0,50-0,79$), dan besar ($\geq 0,80$) (Cohen, 1988). Distribusi frekuensi skor posttest dikategorikan berdasarkan rentang skala 0–100 yang diadaptasi dari Arikunto (2013): 85–100 = Sangat Tinggi; 75–84 = Tinggi; 65–74 = Sedang; 55–64 = Rendah; < 55 = Sangat Rendah. Kelompok kontrol memperoleh pembelajaran konvensional yang berpusat pada ceramah, pemberian contoh soal oleh guru, dan latihan prosedural berbasis buku teks, tanpa memanfaatkan pendekatan konflik kognitif maupun visualisasi dinamis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Validasi Ahli Model KKVD

Model KKVD dikembangkan melalui proses desain sistematis dan divalidasi oleh tiga ahli yang mencakup ahli pendidikan matematika, ahli desain pembelajaran, dan ahli konten geometri. Validasi mencakup empat aspek: kesesuaian model dengan teori perubahan konseptual, koherensi sintaks pembelajaran, ketepatan bahan ajar berbasis GeoGebra, dan kelengkapan instrumen penilaian. Rata-rata skor validasi mencapai 87,7% yang dikategorikan sebagai Sangat Valid, mengindikasikan bahwa Model KKVD layak diimplementasikan pada tahap uji lapangan terbatas.

Tabel 3. Hasil Validasi Ahli Model KKVD dan Instrumen Penelitian

Aspek Validasi	Ahli 1 (%)	Ahli 2 (%)	Ahli 3 (%)	Rata-rata (%)	Kategori
Kesesuaian Teori	90	87	85	87,3	Sangat Valid
Koherensi Sintaks	92	88	86	88,7	Sangat Valid
Ketepatan Bahan Ajar	86	85	86	85,7	Sangat Valid
Kelengkapan Instrumen	88	89	90	89,0	Sangat Valid
RATA-RATA TOTAL	89,0	87,3	86,8	87,7	Sangat Valid

Instrumen divalidasi oleh tiga ahli pendidikan matematika mencakup aspek kesesuaian teoritis model, koherensi sintaks, ketepatan bahan ajar, dan kelengkapan instrumen penilaian, dengan rata-rata skor validasi 87,7% (kategori Sangat Valid). Untuk menjamin ketepatan pengukuran, uji validitas butir soal dilakukan melalui analisis korelasi item-total dengan Pearson correlation coefficient. Semua butir soal menunjukkan korelasi item-total $\geq 0,654$ dengan nilai signifikan ($p < 0,05$), sehingga semua 12 butir soal dinyatakan valid. Butir soal dengan korelasi tertinggi adalah butir 11 (Transfer Konsep) dengan $r = 0,768$.

Tabel 4. Hasil Uji Validitas Butir Soal (Item-Total Correlation)

Indikator	Kode Butir	Korelasi Item-Total (r)	Sig. (2-tailed)	Keterangan
Visualisasi (R1)	1	0,654	0,002	Valid
Visualisasi (R1)	2	0,689	0,001	Valid
Notasi Koordinat (R2)	3	0,721	0,000	Valid
Notasi Koordinat (R2)	4	0,658	0,001	Valid

Relasi Objek-Bayangan (L1)	5	0,743	0,000	Valid
Relasi Objek-Bayangan (L1)	6	0,698	0,001	Valid
Sifat Invarian (L2)	7	0,732	0,000	Valid
Sifat Invarian (L2)	8	0,671	0,001	Valid
Perumusan Aturan Umum (G1)	9	0,756	0,000	Valid
Perumusan Aturan Umum (G1)	10	0,724	0,000	Valid
Transfer Konsep (G2)	11	0,768	0,000	Valid
Transfer Konsep (G2)	12	0,687	0,001	Valid

Tabel 5. Hasil Uji Reliabilitas Instrumen (Cronbach's Alpha)

Dimensi	Jumlah Item	Cronbach's Alpha (α)	Kategori	Keterangan
Representasi Matematis	4	0,714	Reliabel	Konsisten
Relasi Konseptual	4	0,783	Reliabel	Konsisten
Generalisasi	4	0,791	Reliabel	Konsisten
Keseluruhan Instrumen	12	0,827	Reliabel	Sangat Konsisten

3.2 Deskripsi Kemampuan Awal dan Perbandingan Posttest

Data pretest menunjukkan kemampuan awal kedua kelompok relatif setara (eksperimen: $M = 38,13$, $SD = 5,47$; kontrol: $M = 39,79$, $SD = 6,81$), tanpa perbedaan yang signifikan ($p > 0,05$). Kesetaraan ini merupakan prasyarat penting bagi interpretasi perbedaan hasil pada tahap posttest. Setelah penerapan perlakuan selama delapan pertemuan (2×45 menit), rata-rata posttest kelompok eksperimen meningkat menjadi $81,46$ ($SD = 6,23$), sedangkan kelompok kontrol meningkat menjadi $72,29$ ($SD = 7,14$). N-Gain kelompok eksperimen mencapai $0,70$ (kategori tinggi), sementara kelompok kontrol memperoleh N-Gain $0,54$ (kategori sedang).

Tabel 6. Statistik Deskriptif Pretest, Posttest, dan N-Gain Kedua Kelompok

Statistik	Pre-Eks	Post-Eks	Pre-Kon	Post-Kon	Kenaikan Eks	N-Gain
Mean	38,13	81,46	39,79	72,29	43,33	Eks: 0,70 (Tinggi); Kon: 0,54 (Sedang)
SD	5,47	6,23	6,81	7,14	—	—
Min	26,00	66,67	28,33	55,00	—	—
Max	50,00	95,83	51,67	85,00	—	—

Keterangan: Pre-Eks = Pretest Eksperimen; Post-Eks = Posttest Eksperimen; Pre-Kon = Pretest Kontrol; Post-Kon = Posttest Kontrol; SD = Standar Deviasi; Eks = Eksperimen; Kon = Kontrol

3.2.1 Uji Prasyarat Analisis Data (Normalitas dan Homogenitas Varians)

Sebelum melakukan uji inferensial, dilakukan uji prasyarat untuk memvalidasi asumsi penggunaan uji parametrik. Uji normalitas dilakukan menggunakan Shapiro-Wilk Test

(H_0 : data berdistribusi normal; data dianggap normal jika $p > 0,05$). Semua nilai p-value $> 0,05$ (lihat Tabel 7), sehingga asumsi normalitas terpenuhi.

Tabel 7. Hasil Uji Normalitas (Shapiro-Wilk Test)

Variabel	Kelompok	n	Statistic	p-value (Sig.)	Keputusan
Pretest	Eksperimen	20	0,9472	0,334	Normal
Pretest	Kontrol	20	0,9531	0,406	Normal
Posttest	Eksperimen	20	0,9551	0,428	Normal
Posttest	Kontrol	20	0,9408	0,253	Normal

Uji homogenitas varians dilakukan menggunakan Levene's Test (H_0 : varians data homogen; data dianggap homogen jika $p > 0,05$). Semua nilai p-value $> 0,05$ (lihat Tabel 8), sehingga asumsi homogenitas varians terpenuhi dan uji independent sample t-test dapat dilanjutkan.

Tabel 8. Hasil Uji Homogenitas Varians (Levene's Test)

Variabel	Levene Statistic	df1	df2	p-value (Sig.)	Keputusan
Pretest	0,8124	1	38	0,373	Homogen
Posttest	0,6541	1	38	0,423	Homogen

3.3 Hasil Uji Statistik Inferensial dan Effect Size

Uji independent sample t-test pada data posttest menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol ($t(38) = 3,45$; $p < 0,001$). Perbedaan ini tidak hanya bermakna secara statistik, tetapi juga bermakna secara praktis, sebagaimana tercermin dari besaran effect size Cohen's $d = 1,12$ (kategori besar; Cohen, 1988). Temuan ini mengindikasikan bahwa Model KKVD memberikan kontribusi yang substansial terhadap peningkatan pemahaman konseptual transformasi geometri.

Tabel 9. Hasil Uji Statistik Inferensial Posttest Kedua Kelompok

Kelompok	Mean Posttest	t-hitung	df	p-value	Cohen's d
Eksperimen	81,46	3,45	38	$< 0,001^*$	1,12
Kontrol	72,29	—	—	—	—

Keterangan: $* = p < 0,001$ (Signifikan); Cohen's $d = 1,12$ (Kategori Besar, $d \geq 0,80$)

3.4 Distribusi Frekuensi Posttest

Tabel 10. Distribusi Frekuensi Skor Posttest Kelompok Eksperimen dan Kontrol

Interval Skor	Kategori	Frek. Eks	Frek. Kon	Selisih
55–64	Rendah	0	4	–4
65–74	Sedang	2	12	–10
75–84	Tinggi	12	4	+8
85–100	Sangat Tinggi	6	0	+6
TOTAL		20	20	0

3.5 Analisis Per Dimensi Pemahaman Konseptual

Analisis per dimensi mengungkap pola peningkatan yang berbeda dan informatif secara pedagogis (Tabel 11). Pada dimensi Representasi Matematis, kedua kelompok menunjukkan peningkatan yang setara (kenaikan 1,17 poin; selisih 0,00 poin). Hal ini mengindikasikan bahwa kemampuan representasi dasar, yaitu memvisualisasikan dan menotasikan koordinat transformasi, dapat ditingkatkan melalui latihan prosedural konvensional. Sebaliknya, perbedaan substansial terjadi pada dimensi Relasi Konseptual dan Generalisasi.

Pada dimensi Relasi Konseptual, kelompok eksperimen meningkat 2,08 poin (dari 1,32 menjadi 3,40), sedangkan kelompok kontrol meningkat 1,47 poin (dari 1,48 menjadi 2,95), dengan selisih 0,61 poin. Pada dimensi Generalisasi, kelompok eksperimen meningkat 1,95 poin (dari 1,30 menjadi 3,25) dibandingkan kelompok kontrol 1,25 poin (dari 1,35 menjadi 2,60), dengan selisih terbesar 0,70 poin.

Tabel 11. Analisis Per Dimensi Pemahaman Konseptual Transformasi Geometri

Dimensi	Pre Eks.	Post Eks.	Pre Kon.	Post Kon.	Kenaikan Eks.	Selisih
Representasi Matematis	1,95	3,12	1,95	3,12	1,17	0,00
Relasi Konseptual	1,32	3,40	1,48	2,95	2,08	0,61↑
Generalisasi	1,30	3,25	1,35	2,60	1,95	0,70↑↑

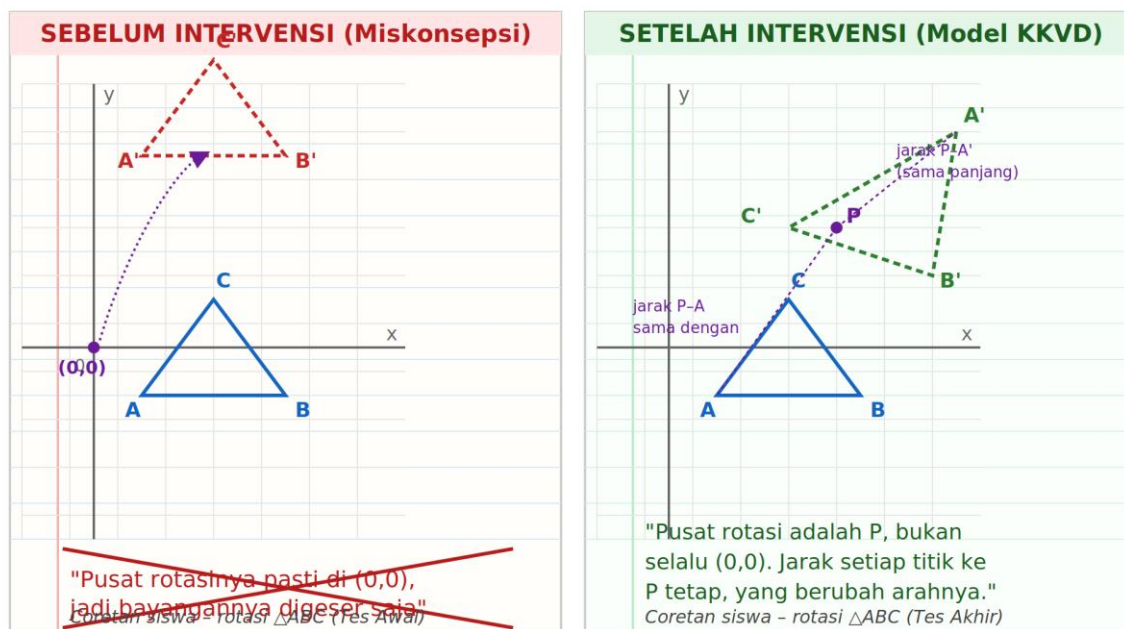
Keterangan: ↑ = Keunggulan eksperimen; ↑↑ = Keunggulan paling signifikan; Pre = Pretest; Post = Posttest; Eks. = Eksperimen; Kon. = Kontrol

3.6 Pembahasan

Temuan penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa Model KKVD lebih efektif dalam meningkatkan pemahaman konseptual transformasi geometri dibandingkan pembelajaran konvensional, terutama pada dimensi relasi konseptual dan generalisasi. Makna temuan ini melampaui sekadar perbedaan skor, melainkan mencerminkan terjadinya perubahan mendasar dalam cara siswa mengonstruksi dan merepresentasikan konsep transformasi geometri secara internal. Kontribusi utama Model KKVD terhadap pengembangan pembelajaran matematika terletak pada kapasitasnya untuk mendorong restrukturisasi konseptual yang bermakna, bukan sekadar penambahan informasi prosedural.

Untuk memahami kontribusi Model KKVD secara lebih konkret, perlu diperhatikan perubahan konseptual yang terjadi pada siswa. Sebelum perlakuan, siswa pada kelompok eksperimen menunjukkan miskonsepsi yang khas pada materi rotasi, antara lain: (1) menganggap pusat rotasi selalu berada di titik asal (0,0), (2) keliru menentukan arah rotasi searah/berlawanan jarum jam, dan (3) tidak mampu menjelaskan mengapa perubahan koordinat terjadi. Setelah delapan pertemuan menggunakan Model KKVD, siswa tidak hanya mampu melakukan prosedur rotasi secara tepat, tetapi juga mampu menjelaskan secara verbal bahwa “jarak titik ke pusat rotasi selalu tetap, yang berubah

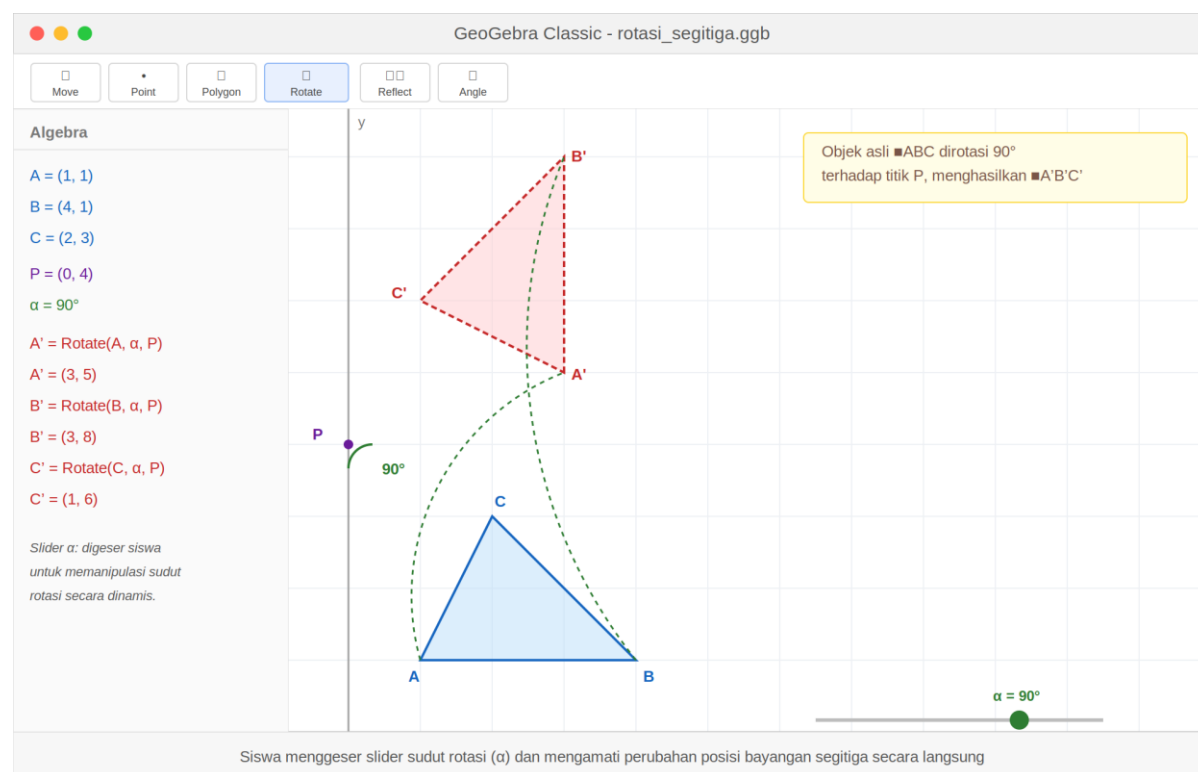
hanya arahnya”—suatu generalisasi konseptual yang tidak muncul pada kelompok kontrol. Pola perubahan serupa teridentifikasi pada materi refleksi dan dilatasi, di mana siswa kelompok eksperimen menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam mengidentifikasi sifat invarian dan merumuskan aturan umum.



Gambar 1. Perbandingan jawaban siswa pada materi rotasi sebelum dan setelah penerapan Model KKVD. Pada tes awal (kiri), siswa beranggapan bahwa pusat rotasi selalu berada di titik $(0,0)$ sehingga bayangannya hanya digeser; pada tes akhir (kanan), siswa mampu menunjukkan pusat rotasi P yang sesuai dan menjelaskan bahwa jarak setiap titik ke P tetap, sedangkan arahnya berubah

Keefektifan Model KKVD dapat dijelaskan melalui mekanisme kognitif yang diaktifkan setiap fasenya. Fase Prediksi Konseptual berfungsi mengaktifkan konsepsi awal siswa yang tersimpan secara implisit, sehingga miskonsepsi menjadi terartikulasikan dan dapat diidentifikasi (Posner et al., 1982; Lee et al., 2020). Tanpa fase ini, konflik kognitif tidak dapat tercipta secara efektif karena siswa tidak menyadari kesenjangan antara pengetahuan yang dimiliki dan konsep yang benar.

Fase Konfrontasi Visual-Dinamis merupakan inti mekanisme konflik kognitif dalam model ini. Melalui GeoGebra, siswa menyaksikan secara langsung perbedaan antara prediksi mereka dan perilaku geometris yang sesungguhnya. Konflik yang terbentuk bersifat visual dan konkret, sehingga lebih efektif dalam menciptakan disequilibrium kognitif dibandingkan konflik berbasis diskusi verbal semata (Leung et al., 2013; Trocki & Hollebrands, 2018). Hal ini selaras dengan temuan Drijvers et al. (2021) bahwa representasi dinamis memfasilitasi pembentukan pemahaman konseptual yang lebih akurat.



Gambar 2. Tampilan antarmuka GeoGebra pada Fase Konfrontasi Visual-Dinamis. Siswa memanipulasi slider sudut rotasi (α) untuk membandingkan prediksi awal ($\triangle ABC$) dengan bayangan hasil rotasi yang sesungguhnya ($\triangle A'B'C'$) terhadap titik pusat P

Fase Kesadaran Ketidaksesuaian berperan membimbing siswa untuk tidak hanya mengalami konflik, tetapi juga menganalisis sumber dan penyebab kesenjangan tersebut. Tahap ini penting secara pedagogis karena tanpa refleksi terbimbing, konflik kognitif berpotensi menimbulkan frustrasi tanpa menghasilkan restrukturisasi konseptual yang produktif (Tippett, 2010; Lee et al., 2020). Fase Rekonstruksi Konseptual, di mana siswa secara aktif memanipulasi parameter GeoGebra, memungkinkan terbentuknya pemahaman relasional melalui eksplorasi langsung (Lisarini et al., 2023; Jupri et al., 2020). Keunggulan kelompok eksperimen pada dimensi relasi konseptual (selisih 0,61 poin) memberikan dukungan empiris terhadap efektivitas fase ini.

Adapun alasan mengapa dimensi relasi konseptual dan generalisasi mengalami peningkatan yang lebih besar dibandingkan dimensi representasi matematis dapat dijelaskan melalui dua argumen saling melengkapi. Pertama, secara teoritis, dimensi relasi dan generalisasi berada pada tingkat pemahaman konseptual yang lebih tinggi dalam hierarki kognitif Bloom's Taxonomy, yaitu pada level analisis dan evaluasi, sementara representasi matematis berada pada level pengetahuan dan pemahaman dasar yang relatif dapat dicapai melalui latihan prosedural. Kedua, secara metodologis, setiap fase Model KKVD secara eksplisit menargetkan pembentukan relasi konseptual dan kemampuan generalisasi: Fase Konfrontasi mendorong siswa mengidentifikasi pola hubungan antara parameter transformasi dan hasil geometrisnya; Fase Rekonstruksi

mendorong eksplorasi sistematis hubungan antar-variabel; sedangkan Fase Generalisasi secara langsung meminta siswa merumuskan dan mengaplikasikan aturan umum. Sebaliknya, dimensi representasi matematis, yang berkaitan dengan kemampuan memvisualisasikan dan menotasikan koordinat, merupakan keterampilan yang secara alami telah diasah melalui latihan konvensional pula, sehingga selisih peningkatan antara kedua kelompok pada dimensi ini tidak signifikan. Pola ini mengonfirmasi bahwa Model KKVD secara selektif dan efektif meningkatkan aspek konseptual tingkat tinggi yang justru paling sulit dicapai melalui pembelajaran konvensional.

Kesetaraan peningkatan pada dimensi representasi matematis antara kedua kelompok juga memiliki implikasi teoritis penting: aspek prosedural yang berkaitan dengan kemampuan memvisualisasikan dan menotasikan koordinat transformasi dapat dikuasai melalui latihan konvensional. Namun, aspek konseptual yang lebih dalam, yaitu relasi dan generalisasi, memerlukan pendekatan yang secara khusus dirancang untuk membelajarkan pemahaman relasional, sebagaimana yang diwujudkan melalui Model KKVD.

Meskipun demikian, temuan ini perlu ditafsirkan secara proporsional karena uji efektivitas dilakukan pada skala terbatas dengan 40 siswa dan desain kuasi-eksperimen tanpa randomisasi. Namun, Cohen's $d = 1,12$ (kategori besar) menunjukkan bahwa pengaruh Model KKVD bermakna tidak hanya secara statistik, tetapi juga secara praktis. Kontribusi Model KKVD terhadap pengembangan pembelajaran matematika terletak pada penyediaan kerangka pembelajaran yang dapat diadopsi oleh guru dengan memanfaatkan GeoGebra sebagai medium eksplorasi tanpa memerlukan infrastruktur teknologi yang kompleks, sekaligus memberikan alternatif metodologis bagi praktisi yang ingin mendorong pemahaman konseptual mendalam pada topik geometri transformasi.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengembangan dan uji efektivitas awal, disimpulkan bahwa Model KKVD telah berhasil dikembangkan melalui adaptasi model 4D Thiagarajan dan memperoleh penilaian kelayakan rata-rata 87,7% (Sangat Valid) dari tiga ahli, sehingga layak diimplementasikan dalam pembelajaran transformasi geometri.

Hasil uji lapangan terbatas mengindikasikan bahwa Model KKVD menunjukkan efektivitas awal yang substansial, tercermin dari perbedaan signifikan posttest ($p < 0,001$), N-Gain eksperimen kategori tinggi (0,70), dan effect size besar (Cohen's $d = 1,12$). Keunggulan Model KKVD paling menonjol pada dimensi relasi konseptual (selisih 0,61 poin) dan generalisasi (selisih 0,70 poin), yang merupakan dimensi pemahaman konseptual tingkat tinggi yang tidak dapat berkembang secara memadai melalui pembelajaran konvensional prosedural.

Implikasi pedagogis temuan ini adalah bahwa integrasi konflik kognitif, visualisasi dinamis, dan rekonstruksi konseptual ke dalam satu sintaks terstruktur memiliki

potensi menjadi kerangka pembelajaran alternatif yang bermakna bagi materi transformasi geometri. Guru dapat mengadopsi Model KKVD dengan memanfaatkan GeoGebra sebagai medium eksplorasi tanpa memerlukan infrastruktur teknologi yang kompleks.

5. REKOMENDASI

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui secara eksplisit. Pertama, ukuran sampel yang kecil ($N = 40$) dan desain kuasi-eksperimen tanpa randomisasi membatasi validitas internal dan eksternal temuan. Kedua, penelitian ini berstatus uji coba lapangan skala terbatas sehingga generalisasi tidak dapat dilakukan secara luas. Ketiga, aspek kepraktisan Model KKVD belum dikumpulkan secara sistematis, sehingga klaim kepraktisan memerlukan data tambahan.

Berdasarkan keterbatasan tersebut, direkomendasikan: (1) penelitian lanjutan dengan skala sampel lebih besar dan sekolah yang lebih beragam; (2) pengujian Model KKVD pada materi geometri lain; (3) pengumpulan data kepraktisan melalui angket respon guru dan siswa; (4) penelitian longitudinal untuk menguji retensi pemahaman konseptual; (5) pendekatan kualitatif atau mixed-methods untuk mengungkap mekanisme psikologis perubahan konseptual; dan (6) penelitian replikasi pada jenjang sekolah dan konteks budaya yang berbeda.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi kepada para validator ahli atas masukan konstruktifnya. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada pimpinan dan jajaran guru SMK Widyagama Malang atas fasilitasi yang diberikan, serta kepada 40 siswa kelas XI atas partisipasi aktifnya selama tahap uji coba lapangan Model KKVD.

7. REFERENSI

- Arikunto, S. (2013). *Dasar-dasar evaluasi pendidikan (edisi ke-2)*. Bumi Aksara.
- Arzarello, F., Bartolini Bussi, M. G., Leung, A. Y. L., Mariotti, M. A., & Stevenson, I. (2012). Experimental approaches to theoretical thinking: Artefacts and proofs. In G. Hanna & M. de Villiers (Eds.), *Proof and proving in mathematics education* (pp. 97–143). Springer.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.)*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (5th ed.)*. SAGE Publications.
- Drijvers, P., Kodde-Buitenhuis, H., & Doorman, M. (2019). Assessing mathematical thinking as part of curriculum reform in the Netherlands. *Educational Studies in Mathematics*, 102(3), 435–456. <https://doi.org/10.1007/s10649-019-09905-7>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>

- Hollebrands, K. F. (2003). High school students' understandings of geometric transformations in the context of a technological environment. *Journal of Mathematical Behavior*, 22(1), 55–72. [https://doi.org/10.1016/S0732-3123\(03\)00004-X](https://doi.org/10.1016/S0732-3123(03)00004-X)
- Jupri, A., Gozali, S. M., & Usdiyana, D. (2020). An analysis of a linear algebra task: A case of translation and reflection. *Jurnal Pendidikan Matematika*, 14(2), 131–146.
- Lee, G., Kwon, J., Park, S.-S., Kim, J.-W., Kwon, H.-G., & Park, H.-K. (2003). Development of an instrument for measuring cognitive conflict in secondary-level science classes. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(6), 585–603. <https://doi.org/10.1002/tea.10099>
- Leikin, R., Zazkis, R., & Meller, M. (2018). Research mathematicians as teacher educators: Focusing on mathematics for secondary mathematics teachers. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 21(5), 451–473. <https://doi.org/10.1007/s10857-017-9388-9>
- Leung, A., Baccaglini-Frank, A., & Mariotti, M. A. (2013). Discernment of invariants in dynamic geometry environments. *Educational Studies in Mathematics*, 84(3), 439–460. <https://doi.org/10.1007/s10649-013-9492-4>
- Limón, M. (2001). On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: A critical appraisal. *Learning and Instruction*, 11(4–5), 357–380. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(00\)00037-2](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(00)00037-2)
- Lisarini, N., Zulkardi, Z., & Putri, R. I. I. (2023). GeoGebra-assisted learning and its effect on students' conceptual understanding in geometry. *Jurnal Pendidikan Matematika*, 17(1), 1–18. <https://doi.org/10.22342/jpm.17.1.19041.1-18>
- Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric theory* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Panorkou, N., & Kılıç, Ç. (2021). Examining students' reasoning about geometric transformations. *Mathematics Education Research Journal*, 33(2), 269–293. <https://doi.org/10.1007/s13394-019-00296-z>
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- Riduwan. (2013). *Skala pengukuran variabel-variabel penelitian*. Alfabeta.
- Sinclair, N., Bussi, M. G. B., de Villiers, M., Jones, K., Kortenkamp, U., Leung, A., & Owens, K. (2016). Recent research on geometry education: An ICME-13 survey team report. *ZDM Mathematics Education*, 48(7), 691–719. <https://doi.org/10.1007/s11858-016-0796-6>
- Thiagarajan, S., Semmel, D. S., & Semmel, M. I. (1974). *Instructional development for training teachers of exceptional children*. National Center for Improvement of Educational Systems.
- Tippett, C. D. (2010). Refutation text in science education: A review of two decades of research. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8(6), 951–970. <https://doi.org/10.1007/s10763-010-9203-x>
- Trocki, A., & Hollebrands, K. (2018). The development of a framework for assessing dynamic geometry task quality. *Digital Experiences in Mathematics Education*, 4(2–3), 110–138. <https://doi.org/10.1007/s40751-018-0041-8>