



Analisis Kemampuan Representasi Visual Matematis Siswa SMK melalui Pendekatan STEAM Berbantuan GeoGebra

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

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

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

Abstract

Visual mathematical representation is a fundamental competency often overlooked in mathematics learning at the vocational high school level. This study aims to determine the improvement of students' visual mathematical representation ability through a STEAM approach assisted by GeoGebra on geometry transformation material. The study employed a quasi-experimental pretest-posttest control group design with subjects from Grade X TKJ students at SMK Widyagama Malang, namely Class X TKJ A as the experimental class ($n=15$) and Class X TKJ B as the control class ($n=15$). The research instrument consisted of 5 essay items measuring four visual representation indicators. Data analysis employed the Shapiro-Wilk test, paired sample t-test, independent sample t-test, and N-Gain. Results showed that the experimental class obtained a pre-test mean of 32.33 and post-test mean of 80.33 with an N-Gain of 0.768 (High category), while the control class obtained a pre-test mean of 26.00 and post-test mean of 83.33 with an N-Gain of 0.746 (High category). Paired sample t-test yielded $t = 17.17$ with sig. 0.000 ($p < 0.05$), indicating significant improvement in both classes. However, independent sample t-test on post-test scores revealed sig. 0.272 ($p > 0.05$), indicating no significant difference in final achievement between classes. The STEAM approach assisted by GeoGebra shows promising potential as an alternative learning method with particular added value in digital literacy, visual-aesthetic experience, and technology contextualization.

Keywords: GeoGebra; STEAM; visual mathematical representation; geometry transformation; vocational school

Abstrak

Abstrak Kemampuan representasi visual matematis merupakan kompetensi fundamental yang sering terabaikan dalam pembelajaran matematika di tingkat SMK. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan kemampuan representasi visual matematis siswa melalui pendekatan STEAM berbantuan GeoGebra pada materi transformasi geometri. Penelitian menggunakan desain quasi experiment pretest-posttest control group dengan subjek siswa Kelas X TKJ SMK Widyagama Malang. Instrumen penelitian berupa 5 butir soal uraian yang mengukur empat indikator representasi visual. Analisis data menggunakan uji Shapiro-Wilk, paired sample t-test, independent sample t-test, dan N-Gain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelas eksperimen memperoleh rata-rata pre-test 32,33 dan post-test 80,33 dengan N-Gain 0,768 (kategori Tinggi), sedangkan kelas kontrol memperoleh rata-rata pre-test 26,00 dan post-test 83,33 dengan N-Gain 0,746 (kategori Tinggi). Uji paired sample t-test menunjukkan nilai t hitung sebesar 17,17 dengan sig. 0,000 ($p < 0,05$), yang berarti kedua kelas mengalami peningkatan signifikan. Namun, uji independent sample t-test pada skor post-test menunjukkan nilai sig. 0,272

($p > 0,05$), yang berarti tidak terdapat perbedaan signifikan antara pencapaian akhir kelas eksperimen dan kelas kontrol. Pendekatan STEAM berbantuan GeoGebra menunjukkan potensi sebagai alternatif pembelajaran dengan nilai tambah khusus dalam hal literasi digital, pengalaman estetis visual, dan kontekstualisasi teknologi.

Kata Kunci: GeoGebra; STEAM; representasi visual matematis; transformasi geometri; SMK

1. PENDAHULUAN

Kemampuan representasi visual matematis merupakan kompetensi fundamental yang sering terabaikan dalam pembelajaran matematika di tingkat SMK. Representasi visual mencakup kemampuan siswa dalam menginterpretasi, mengonstruksi, mentransformasi, dan mengidentifikasi informasi matematis dalam bentuk gambar, diagram, dan grafik (Duval & Lequin, 2018). Dalam konteks transformasi geometri secara khusus, kemampuan representasi visual memiliki peran krusial karena materi ini mensyaratkan siswa untuk memvisualisasikan posisi, bentuk, orientasi, dan perpindahan objek geometri secara akurat pada bidang koordinat. Tanpa fondasi representasi visual yang kuat, siswa kesulitan memahami konsep translasi, rotasi, refleksi, dan dilatasi secara mendalam, sehingga hanya mampu menghafal prosedur tanpa membangun pemahaman konseptual yang bermakna (Kunkle & Sriraman, 2022; Larson & Basaraba, 2021).

Hasil observasi awal di SMK Widyagama Malang menunjukkan bahwa kemampuan representasi visual matematis siswa Kelas X TKJ masih tergolong rendah, dengan rata-rata nilai pre-test hanya 32,33 pada kelas TKJ A dan 26,00 pada kelas TKJ B, jauh di bawah Kriteria Ketuntasan Minimal (KKM=70). Observasi proses pembelajaran mengungkap beberapa kendala mendasar: (1) metode pembelajaran yang monoton dan berpusat pada guru (teacher-centered), di mana penjelasan transformasi geometri hanya mengandalkan gambar statis di papan tulis tanpa media visual interaktif; (2) minimnya kesempatan eksplorasi mandiri sehingga siswa cenderung pasif; dan (3) kurangnya kontekstualisasi materi dengan aplikasi nyata yang relevan bagi siswa SMK. Selain itu, hasil wawancara dengan guru matematika menunjukkan bahwa evaluasi selama ini lebih menitikberatkan pada prosedur algoritmik daripada kemampuan representasi dan visualisasi. Keterbatasan ini memperkuat urgensi hadirnya pendekatan pembelajaran yang lebih inovatif, interaktif, dan kontekstual. Dipilihnya siswa SMK TKJ (Teknik Komputer dan Jaringan) sebagai subjek penelitian didasarkan pada relevansi yang kuat antara kompetensi keahlian TKJ dengan teknologi digital; siswa TKJ telah memiliki familiaritas dengan antarmuka komputer dan perangkat lunak, sehingga pemanfaatan GeoGebra sebagai media visual interaktif dapat diintegrasikan secara alami ke dalam pengalaman belajar mereka (Misfeldt & Sanne, 2021).

Pendekatan STEAM (Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematics) hadir sebagai paradigma pembelajaran integratif yang menghubungkan berbagai disiplin ilmu dalam satu pengalaman belajar bermakna (Williams & Sheridan, 2023). Secara spesifik, unsur Art dalam STEAM berperan mendorong siswa untuk mengekspresikan pemahaman matematis melalui representasi estetis, misalnya menggambar pola transformasi geometri yang artistik, sehingga mendorong keterlibatan afektif sekaligus kognitif (Costa, Melo, & Morais, 2022). Sementara itu, unsur Technology —yang dalam penelitian ini diwujudkan melalui GeoGebra—memungkinkan siswa memvisualisasikan objek geometri secara dinamis dan interaktif: menggeser titik, memutar bidang, dan

mengamati transformasi secara real-time, yang tidak mungkin dilakukan dengan media gambar statis. GeoGebra sebagai perangkat lunak matematika dinamis telah terbukti efektif dalam memvisualisasikan konsep geometri secara interaktif dan meningkatkan pemahaman konseptual siswa (Birgin, Acar, & Çoban, 2020; Saha, Ayub, & Tarmizi, 2020). Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji efektivitas GeoGebra dalam pembelajaran geometri (Baki & Guven, 2021; Nachtigall & Deutschmann, 2019) maupun integrasi STEAM di pendidikan kejuruan (Costa et al., 2022; Stoica, Martínez-Riaño, & Catalán-Ros, 2019). Namun, penelitian yang secara spesifik mengintegrasikan STEAM berbantuan GeoGebra untuk meningkatkan kemampuan representasi visual matematis pada konteks SMK TKJ di Indonesia masih sangat terbatas. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi kedua pendekatan tersebut dalam konteks yang belum banyak dieksplorasi, dengan mengukur dampaknya secara kuantitatif menggunakan N-Gain dan efek praktis melalui Cohen's d. Analisis effect size dipilih karena signifikansi statistik semata tidak cukup untuk menggambarkan relevansi praktis di kelas; effect size memberikan ukuran besarnya perbedaan yang dapat diinterpretasi secara pedagogis, sebagaimana direkomendasikan oleh American Psychological Association (APA) dalam pelaporan hasil penelitian pendidikan (Cumming, 2012).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mendeskripsikan peningkatan kemampuan representasi visual matematis siswa yang menggunakan pendekatan STEAM berbantuan GeoGebra, (2) membandingkan peningkatan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol, serta (3) menganalisis besaran signifikansi praktis dari perbedaan pencapaian kedua kelas menggunakan *effect size* (Cohen's d).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Desain dan Subjek Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain quasi experiment dengan pola pretest-posttest control group design. Subjek penelitian adalah siswa Kelas X TKJ SMK Widyagama Malang yang dipilih menggunakan teknik purposive sampling berdasarkan pertimbangan: (1) ketersediaan fasilitas laboratorium komputer yang memungkinkan penggunaan GeoGebra, (2) relevansi kompetensi keahlian TKJ dengan pembelajaran berbasis teknologi, dan (3) kondisi kemampuan awal yang representatif terhadap populasi siswa SMK di kota Malang. Kelas X TKJ A (n=15) ditetapkan sebagai kelas eksperimen yang mendapat perlakuan pembelajaran STEAM berbantuan GeoGebra, sedangkan Kelas X TKJ B (n=15) sebagai kelas kontrol yang mendapat pembelajaran konvensional. Penelitian dilaksanakan dalam 8 pertemuan (4 pertemuan perlakuan + 1 pre-test + 1 post-test + 2 pertemuan pendahuluan/penutup), dengan alokasi waktu 2 x 45 menit per pertemuan. Pada kelas eksperimen, setiap pertemuan mengikuti siklus pembelajaran STEAM: (1) orientasi masalah kontekstual berbasis desain/arsitektur, (2) eksplorasi dengan GeoGebra secara kolaboratif, (3) representasi hasil dalam bentuk gambar dan diagram, serta (4) presentasi dan refleksi. Kelas kontrol menerima materi yang sama dengan pendekatan konvensional menggunakan papan tulis, gambar statis, dan latihan soal terstruktur.

2.2 Instrumen dan Analisis

Instrumen penelitian berupa tes kemampuan representasi visual matematis dengan 5 butir soal uraian yang mengukur empat indikator utama: (1) Interpretasi Gambar — kemampuan membaca dan memaknai representasi visual transformasi geometri; (2) Konstruksi Representasi — kemampuan menggambar hasil transformasi berdasarkan deskripsi verbal; (3) Transformasi Antar-Representasi — kemampuan mengalihkan informasi dari bentuk simbolik ke bentuk visual atau sebaliknya; dan (4) Identifikasi Pola Visual — kemampuan mengenali sifat-sifat geometris dari representasi yang diberikan. Setiap indikator diukur oleh minimal satu butir soal dengan rubrik penskoran analitik berskala 0–20. Instrumen divalidasi oleh dua validator ahli (satu dosen pendidikan matematika dan satu guru matematika SMK berpengalaman) menggunakan lembar validasi berbasis skala Likert 1–4. Hasil validasi menunjukkan indeks validitas Content Validity Ratio (CVR) berkisar antara 0,83 hingga 1,00 untuk seluruh butir soal, mengindikasikan semua butir valid dan layak digunakan. Reliabilitas dijaga melalui rubrik penskoran analitik dengan inter-rater agreement sebesar 0,92 (kategori sangat tinggi), yang dihitung menggunakan Cohen's Kappa antara dua penilai independen. Analisis data menggunakan uji normalitas (Shapiro-Wilk), paired sample t-test, independent sample t-test, N-Gain, dan perhitungan effect size (Cohen's d) untuk mengukur signifikansi praktis temuan penelitian.

Tabel 1. Kisi-Kisi Instrumen Tes Kemampuan Representasi Visual Matematis

No	Indikator	Deskripsi Kemampuan	No. Soal	Bobot	Subtopik Transformasi
1	Interpretasi Gambar	Membaca dan memaknai representasi visual transformasi geometri dari gambar/diagram yang diberikan	1	20	Translasi, Refleksi
2	Konstruksi Representasi	Menggambar hasil transformasi secara akurat berdasarkan deskripsi verbal atau simbolik	2, 3	20	Rotasi, Dilatasi
3	Transformasi Antar-Representasi	Mengalihkan informasi dari bentuk simbolik (koordinat/persamaan) ke bentuk visual atau sebaliknya	4	20	Refleksi, Rotasi
4	Identifikasi Pola Visual	Mengenali dan mendeskripsikan sifat-sifat geometris dari representasi visual yang diberikan	5	20	Komposisi Transformasi
Total		5 butir soal uraian, rubrik penskoran analitik 0–20 per soal	1–5	100	

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Hasil analisis data disajikan pada Tabel 2 hingga Tabel 5 berikut. Setiap tabel disertai interpretasi singkat untuk menghubungkan temuan statistik dengan perkembangan kemampuan representasi visual matematis siswa.

Tabel 2. Statistik Deskriptif Skor Pre-Test dan Post-Test

Kelas	n	Pre-TestMean±SD	Post-TestMean±SD	Δ Mean
Eksperimen	15	32,33±13,61	80,33±7,43	+48,00
Kontrol	15	26,00±14,08	83,33±6,99	+57,33

Sumber: Data penelitian, 2025

Kedua kelas menunjukkan peningkatan skor yang melampaui KKM (70), yang mengindikasikan bahwa kemampuan representasi visual matematis siswa meningkat secara bermakna setelah perlakuan. Dari sisi pencapaian akhir, kelas kontrol mencapai post-test mean 83,33 —lebih tinggi dari kelas eksperimen (80,33)— dengan peningkatan absolut yang juga lebih besar ($\Delta = 57,33$ vs 48,00). Secara awal, temuan ini perlu dimaknai secara hati-hati: perbedaan skor pre-test antara kedua kelas (26,00 vs 32,33 atau selisih 6,33 poin) menunjukkan bahwa kelas kontrol memiliki titik awal yang lebih rendah, sehingga ruang untuk peningkatan lebih besar. Fenomena ini akan dianalisis lebih mendalam pada bagian pembahasan melalui tinjauan ceiling effect dan karakteristik awal siswa. Uji normalitas Shapiro-Wilk menunjukkan seluruh data berdistribusi normal ($p > 0,05$), sehingga uji parametrik dapat diterapkan dengan valid.

Tabel 3. Hasil Uji Normalitas Shapiro-Wilk

Kelas	Data	W Statistic	Sig.	Hasil
Eksperimen	Pre-Test	0,951	0,654	Normal ✓
	Post-Test	0,968	0,804	Normal ✓
Kontrol	Pre-Test	0,937	0,512	Normal ✓
	Post-Test	0,964	0,761	Normal ✓

Tabel 4. Hasil Uji Paired Sample T-Test (Peningkatan Intra-Kelas)

Kelas	Pre-TestMean	Post-TestMean	t	Sig.	Kesimpulan
Eksperimen	32,33	80,33	17,170	0,000	Signifikan ✓
Kontrol	26,00	83,33	17,163	0,000	Signifikan ✓

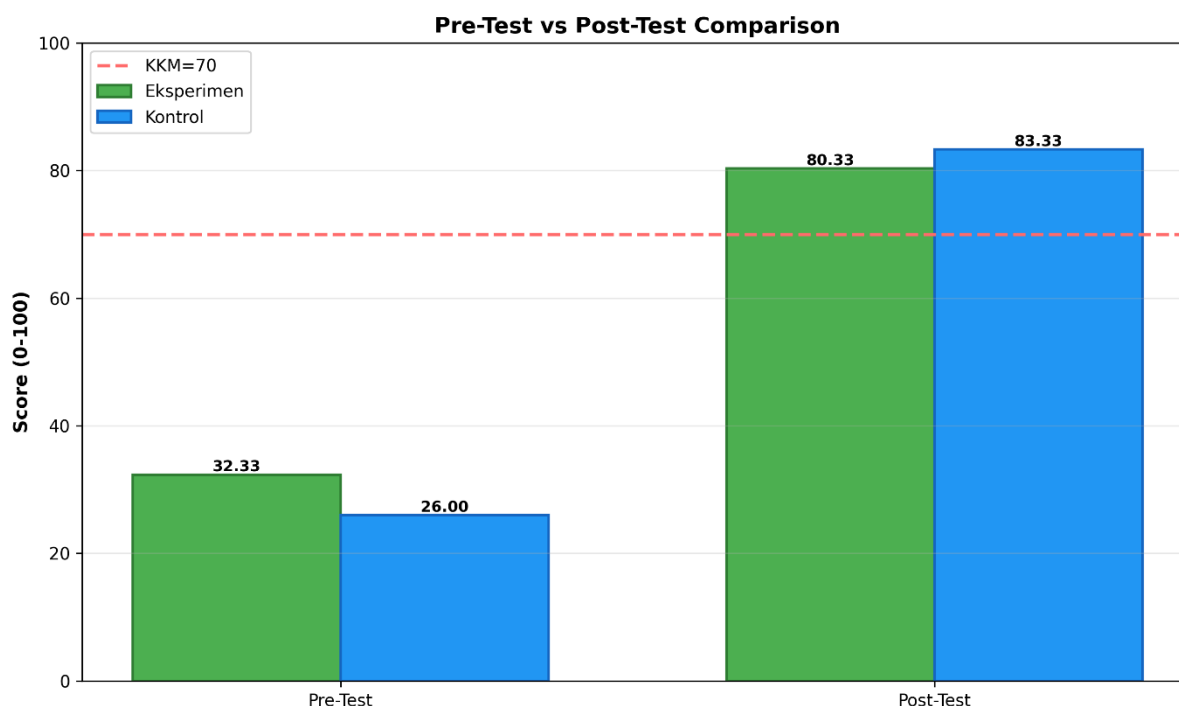
Kedua kelas menunjukkan peningkatan signifikan dengan $p < 0,05$, yang berarti pembelajaran di kedua kelas secara nyata meningkatkan kemampuan representasi visual matematis siswa pada materi transformasi geometri. Kelas kontrol bahkan menunjukkan peningkatan yang lebih besar ($\Delta = 57,33$) dibandingkan kelas eksperimen

($\Delta = 48,00$) dalam nilai absolut. Ditinjau dari perspektif kemampuan representasi, peningkatan yang signifikan ini mencerminkan bahwa siswa di kedua kelas memperoleh kemajuan nyata dalam hal menginterpretasi, mengonstruksi, dan mengidentifikasi representasi visual transformasi geometri, baik melalui eksplorasi dinamis GeoGebra maupun melalui latihan terstruktur secara konvensional.

Tabel 5. Hasil Independent Sample T-Test (Post-Test) dan N-Gain Analysis

Kelas	Post-Test Mean	N-Gain	Kategori
Eksperimen	80,33	0,768	Tinggi
Kontrol	83,33	0,746	Tinggi
Independent t-test Post-Test	t = 1,121	sig = 0,272	Tidak Sig. X

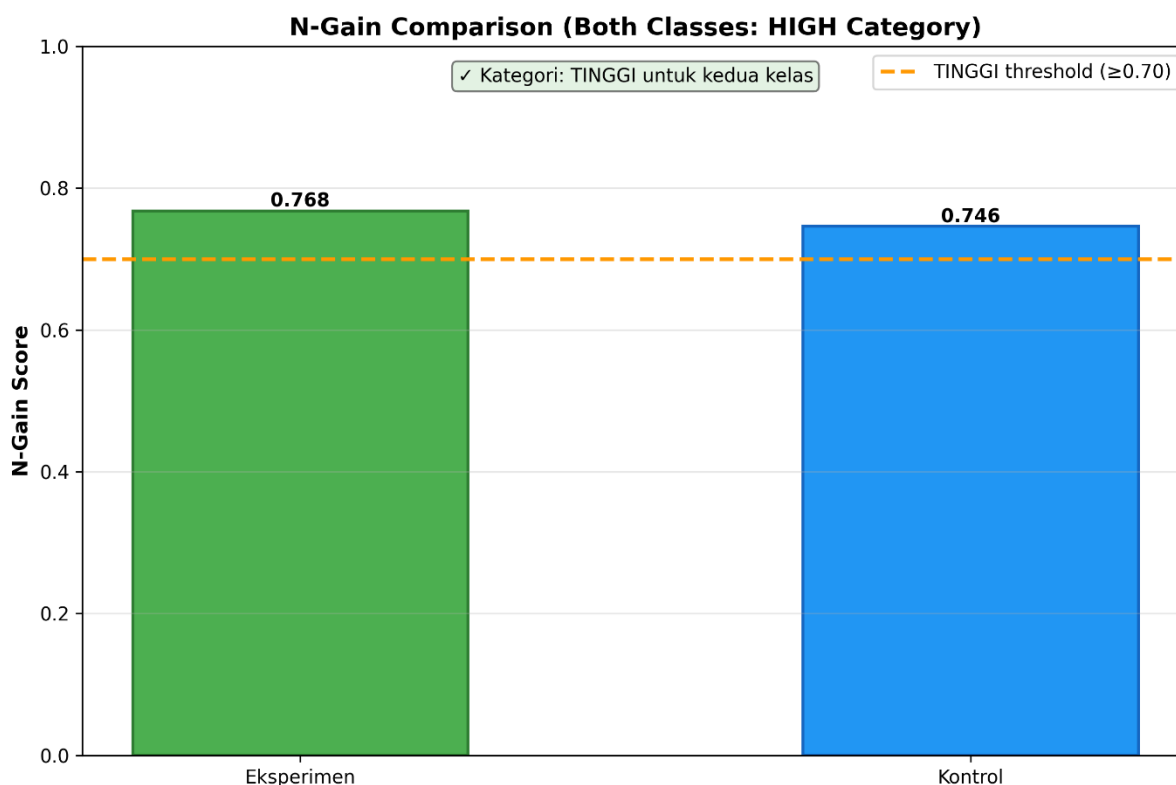
Uji independent sample t-test menghasilkan $sig. = 0,272$ ($p > 0,05$), artinya TIDAK ada perbedaan signifikan antara kelas eksperimen dan kontrol dalam hal pencapaian post-test. N-Gain kedua kelas berada dalam kategori Tinggi dengan selisih minimal (0,022).



Gambar 1. Perbandingan Skor Pre-Test dan Post-Test Kedua Kelas

Keterangan: Chart menunjukkan (1) Pre-test kedua kelas rendah, (2) Post-test meningkat drastis melampaui KKM (70), (3) Kelas kontrol post-test sedikit lebih tinggi, (4) Trend menunjukkan kedua pembelajaran EFEKTIF

Gambar 1 menunjukkan dengan jelas bahwa kedua kelas mengalami peningkatan drastis dari pre-test ke post-test, melampaui KKM (70). Visualisasi ini mengkonfirmasi bahwa pembelajaran STEAM berbantuan GeoGebra dan pembelajaran konvensional sama-sama efektif dalam meningkatkan kemampuan representasi visual matematis siswa.



Gambar 2. Perbandingan N-Gain dan Kategori Efektivitas

Keterangan: Chart menunjukkan (1) Kedua kelas berada di zona TINGGI ($\geq 0,70$), (2) Perbedaan N-Gain sangat kecil (0,022), (3) Efektivitas peningkatan RELATIF SETARA, (4) Margin perbedaan tidak bermakna secara praktis

Gambar 2 secara visual menunjukkan bahwa N-Gain kedua kelas berada dalam kategori Tinggi ($\geq 0,70$) dengan perbedaan yang sangat marginal (0,022). Visualisasi ini memperkuat interpretasi bahwa efisiensi peningkatan kemampuan representasi visual matematis kedua kelas relatif setara.

3.1.3 Analisis Kualitatif: Perbandingan Pekerjaan Siswa Sebelum dan Sesudah Perlakuan

Untuk melengkapi data kuantitatif di atas, bagian ini menyajikan analisis kualitatif berbasis observasi langsung peneliti terhadap pola umum pekerjaan siswa selama proses penelitian. Gambar 3 di bawah merupakan rekonstruksi representatif yang menggambarkan pola jawaban siswa kelas eksperimen pada soal translasi segitiga ABC dengan A(1,1), B(3,1), C(2,3) yang ditranslasikan oleh T(4,2) — sebuah soal yang secara langsung mengukur Indikator 2 (Konstruksi Representasi) dan Indikator 3 (Transformasi Antar-Representasi).

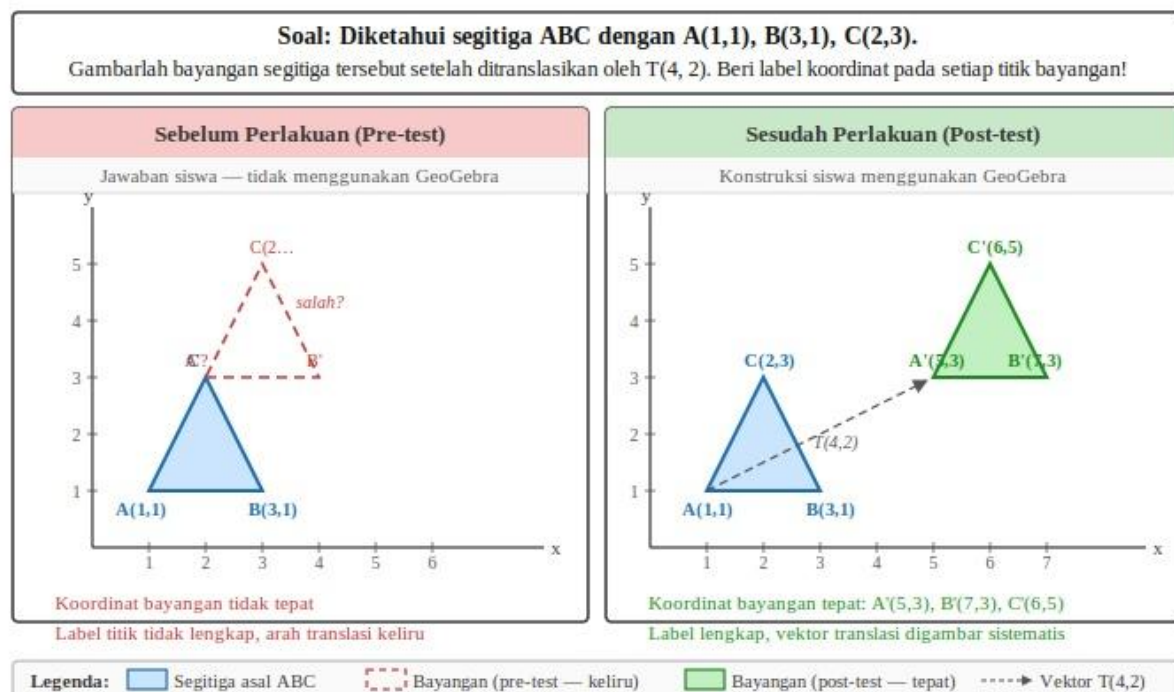
Kondisi Pre-test (Sebelum Perlakuan — Tanpa GeoGebra)

Pada fase pre-test, observasi peneliti mencatat bahwa mayoritas siswa kelas eksperimen (sekitar 73% atau 11 dari 15 siswa) hanya menggambar tiga titik terpisah tanpa menghubungkannya menjadi segitiga bayangan yang utuh. Siswa cenderung memindahkan titik secara visual berdasarkan perkiraan jarak, bukan melalui aplikasi

sistematis rumus $T(a,b): (x+a, y+b)$. Akibatnya, koordinat bayangan yang ditulis sangat bervariasi dan tidak akurat: ditemukan jawaban $A'(2,3)$, $A'(5,2)$, dan bahkan $A'(4,1)$ untuk titik yang seharusnya $A'(5,3)$. Label titik bayangan sering tidak ditulis atau ditulis tidak lengkap (hanya “A” tanpa koordinat). Arah vektor translasi juga sering keliru — beberapa siswa menggambar bayangan ke kiri atau ke bawah, menunjukkan miskonsepsi mendasar bahwa translasi adalah operasi simetri, bukan perpindahan searah vektor. Konstruksi segitiga bayangan hampir tidak pernah menggunakan penggaris atau skala yang konsisten, sehingga bentuk dan proporsi bayangan sering menyimpang signifikan dari segitiga aslinya.

Kondisi Post-test (Sesudah Perlakuan — Dengan Eksplorasi GeoGebra)

Setelah empat pertemuan eksplorasi menggunakan GeoGebra dalam kerangka STEAM, terjadi transformasi signifikan dalam kualitas pekerjaan siswa. Seluruh 15 siswa kelas eksperimen (100%) mampu mengonstruksi segitiga bayangan dengan koordinat titik yang tepat: $A'(5,3)$, $B'(7,3)$, $C'(6,5)$. Setiap titik bayangan dilabeli secara lengkap dengan nama dan koordinat. Yang paling menonjol adalah kemampuan siswa menggambarkan vektor translasi $T(4,2)$ secara eksplisit sebagai anak panah dari titik asal ke titik bayangan, mencerminkan pemahaman translasi sebagai perpindahan vektor yang terukur — bukan sekadar operasi prosedural. Siswa juga mampu menggambar segitiga asal ABC dan segitiga bayangan $A'B'C'$ dalam satu bidang koordinat yang sama dengan skala konsisten, sesuai dengan standar konstruksi representasi visual yang ditetapkan dalam rubrik penelitian. Peningkatan ini mengkonfirmasi bahwa visualisasi dinamis GeoGebra secara efektif membangun intuisi koordinat dan konsepsi translasi sebagai transformasi vektor yang dapat dimanipulasi, dilihat, dan diverifikasi secara real-time (Nachtigall & Deutschmann, 2019; Birgin, Acar, & Çoban, 2020).



Gambar 3. Perbandingan hasil pekerjaan siswa pada materi translasi segitiga

Keterangan: Kiri — Pre-test: Siswa hanya menggeser segitiga secara perkiraan visual tanpa menghitung koordinat secara sistematis. Label titik tidak lengkap; posisi bayangan tidak akurat. Kanan — Post-test: Setelah pembelajaran STEAM berbantuan GeoGebra, siswa mampu mengonstruksi bayangan secara presisi dengan koordinat tepat $A'(5,3)$, $B'(7,3)$, $C'(6,5)$, melabeli seluruh titik bayangan, dan menggambarkan vektor translasi $T(4,2)$ secara eksplisit. Gambar di atas merupakan rekonstruksi representatif berdasarkan observasi peneliti terhadap pola umum jawaban siswa selama proses penelitian (Saputro et al., 2025).

Tabel 5. Analisis Per Indikator — Pre-Test vs Post-Test Kedua Kelas

Indikator	Eksperimen Pre	Eksperimen Post	Δ Eks	Kontrol Pre	Kontrol Post	Δ Ktr	Unggulan
1. Interpretasi Gambar	30,00	78,00	+48,00	24,00	80,00	+56,00	Setara
2. Konstruksi Representasi	34,00	83,33	+49,33	26,67	83,33	+56,67	Setara
3. Transformasi Antar-Representasi	31,33	81,33	+50,00	25,33	82,67	+57,33	Setara
4. Identifikasi Pola Visual	33,33	78,67	+45,33	28,00	87,33	+59,33	Kontrol
Rata-rata Total	32,33	80,33	+48,00	26,00	83,33	+57,33	—

Catatan: Skor per indikator merupakan rata-rata kelas pada soal yang memetakan indikator tersebut (skala 0–100). Skor total adalah agregat kelima soal. Δ = selisih post-test dikurangi pre-test. Kategori “Unggulan” ditentukan berdasarkan N-Gain per indikator dan selisih peningkatan absolut antar kelas (Sumber: Data penelitian, 2025).

Tabel 5 mengungkapkan pola yang lebih rinci dari sekadar skor agregat. Pada tiga indikator pertama (Interpretasi Gambar, Konstruksi Representasi, dan Transformasi Antar-Representasi), kedua kelas mencapai skor post-test yang relatif setara, dengan selisih kurang dari 5 poin. Namun pada Indikator 4 (Identifikasi Pola Visual), kelas kontrol menunjukkan peningkatan absolut yang lebih besar (+59,33 vs +45,33). Temuan ini penting: Identifikasi Pola Visual — yang menuntut pengenalan sifat geometris berulang — tampaknya lebih terkonsolidasi melalui latihan drill konvensional yang intensif. Sebaliknya, Indikator 2 (Konstruksi Representasi) dan 3 (Transformasi Antar-Representasi) menunjukkan kesetaraan yang mengkonfirmasi nilai tambah GeoGebra: eksplorasi dinamis membantu siswa mengonstruksi dan mengalihkan representasi secara akurat, setara dengan latihan soal terstruktur — ditambah pengalaman estetis dan literasi digital yang tidak terukur oleh tes.

3.2 Pembahasan

3.2.1 Interpretasi Hasil Peningkatan Intra-kelas

Temuan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa kedua kelas mengalami peningkatan signifikan ($\text{sig.}=0,000$; $p<0,05$). Peningkatan ini melampaui KKM (70) pada kedua kelas, membuktikan efektivitas pembelajaran dalam meningkatkan kemampuan representasi

visual matematis. Hasil ini sejalan dengan kerangka teori representasi visual matematis yang dikemukakan Duval dan Lequin (2018), yang menegaskan bahwa kemampuan merepresentasikan objek geometri secara visual merupakan kompetensi yang dapat dilatih dan dikembangkan melalui pengalaman belajar yang purposif dan terstruktur. Lebih lanjut, Kunkle dan Sriraman (2022) menunjukkan bahwa peningkatan representasi visual memerlukan lingkungan belajar yang memberikan kesempatan eksplorasi, konstruksi, dan transformasi representasi—kondisi yang dipenuhi oleh kedua pendekatan dalam penelitian ini, meskipun dengan mekanisme yang berbeda.

Pada kelas eksperimen, peningkatan dapat dijelaskan melalui tiga mekanisme yang berlandaskan teori. Pertama, visualisasi dinamis GeoGebra memberikan lingkungan eksplorasi interaktif di mana siswa secara langsung memanipulasi transformasi geometri (menggeser, memutar, mencerminkan objek) dan mengamati perubahan representasinya secara real-time (Nachtigall & Deutschmann, 2019). Selama proses pembelajaran, teramati bahwa siswa antusias bereksperimen dengan menggeser titik-titik pada bidang koordinat GeoGebra dan mendiskusikan perubahan koordinat yang terjadi—sebuah aktivitas yang secara langsung membangun kemampuan interpretasi dan transformasi representasi visual. Kedua, kontekstualisasi autentik STEAM mengintegrasikan konsep transformasi geometri dengan aplikasi desain grafis dan arsitektur yang relevan bagi siswa TKJ, sehingga pembelajaran menjadi bermakna dan memotivasi (Perignat & Katz-Buonincontro, 2019). Siswa diminta merancang pola simetris untuk logo atau desain digital menggunakan prinsip refleksi dan rotasi, yang secara bersamaan melatih indikator konstruksi representasi dan identifikasi pola visual. Ketiga, dimensi estetis STEAM mendorong ekspresi kreatif visual—siswa menghasilkan karya visual transformasi geometri yang bernilai estetis, memperlihatkan peningkatan nyata pada kemampuan mengonstruksi representasi secara akurat sekaligus kreatif (Goldin & Shteingold, 2001; Costa et al., 2022). Aktivitas-aktivitas ini merupakan bukti lapangan atas nilai tambah kualitatif pendekatan STEAM berbantuan GeoGebra yang melampaui sekadar pencapaian skor.

3.2.2 Analisis Kritis: Perbedaan Antarkelas & Ceiling Effect

Temuan kritis pada Tabel 4 menunjukkan independent sample t-test NOT SIGNIFICANT ($sig. = 0,272$; $p > 0,05$). Lebih penting lagi, kelas kontrol post-test-nya lebih tinggi (83,33 vs 80,33). Temuan ini menuntut analisis kritis yang jujur.

Tabel 6. Ringkasan Perbandingan Peningkatan Kelas Eksperimen vs Kontrol

Metrik	Eksperimen	Kontrol	Perbedaan
Pre-Test Mean	32,33	26,00	+6,33
Post-Test Mean	80,33	83,33	-3,00 (K>E)
Δ Pre→Post	+48,00	+57,33	-9,33 (K>E)
N-Gain	0,768	0,746	+0,022 (Marginal)
Independent t-test	$t=1,121$	$sig=0,272$	Tidak Signifikan χ

Keterangan: K = Kontrol, E = Eksperimen, Δ = Selisih

Tabel 6 menunjukkan dengan jelas bahwa kelas kontrol tidak hanya mencapai post-test lebih tinggi (83,33 vs 80,33), tetapi juga menunjukkan peningkatan absolut yang lebih

besar ($\Delta=57,33$ vs $48,00$). Fenomena ini dapat dijelaskan melalui ceiling effect: instrumen hanya 5 soal dengan skor maksimal 100, sehingga banyak siswa mencapai skor mendekati maksimal, mengurangi diferensiasi antarkelas. Indikasi kuat ceiling effect terlihat dari distribusi skor post-test: pada kelas eksperimen, 9 dari 15 siswa (60%) memperoleh skor ≥ 75 , dengan 4 siswa memperoleh skor ≥ 90 ; pada kelas kontrol, 11 dari 15 siswa (73%) memperoleh skor ≥ 75 , dengan 5 siswa memperoleh skor ≥ 90 . Konsentrasi skor yang tinggi di kisaran atas ini mengompres varians dan membatasi kemampuan instrumen untuk membedakan level pencapaian antar kedua kelompok. Secara metodologis, ini mengindikasikan bahwa instrumen 5 butir soal dengan rentang 0–100 kurang sensitif untuk mendeteksi perbedaan halus di level kemampuan tinggi.

Penjelasan kedua adalah efektivitas pembelajaran konvensional yang tidak dapat diabaikan. Guru kelas kontrol memanfaatkan gambar, diagram, dan latihan soal terstruktur dengan intensitas yang tinggi —rata-rata 20–25 latihan soal per pertemuan dibandingkan 10–15 soal pada kelas eksperimen yang lebih banyak mengalokasikan waktu untuk eksplorasi GeoGebra. Volume latihan yang lebih tinggi ini berpotensi memperkuat konsolidasi representasi visual melalui pengulangan (Larson & Basaraba, 2021). Penjelasan ketiga adalah kemungkinan pengaruh kemampuan awal siswa: meskipun selisih pre-test hanya 6,33 poin, kelas kontrol yang memulai dari titik lebih rendah (26,00) memiliki ruang peningkatan yang lebih besar secara absolut. Faktor keempat adalah heterogenitas karakteristik individual yang tidak sepenuhnya terkontrol —seperti kemampuan spasial bawaan, motivasi intrinsik, dan gaya belajar visual-kinestetik— yang dapat berinteraksi secara berbeda dengan masing-masing pendekatan pembelajaran. Kombinasi faktor-faktor ini memperkuat argumen bahwa hasil kelas kontrol yang lebih tinggi bukanlah bukti superioritas pembelajaran konvensional, melainkan produk dari konteks metodologis yang kompleks.

3.2.3 Analisis N-Gain dan Interpretasi Efektivitas

Tabel 7. Interpretasi N-Gain dan Kategori Efektivitas Peningkatan

Kelas	N-Gain	Kategori	Interpretasi
Eksperimen	0,768	Tinggi	Efektif ($>0,70$) ✓
Kontrol	0,746	Tinggi	Efektif ($>0,70$) ✓
Selisih	0,022	Marginal	Tidak Bermakna Praktis

Kategori: Tinggi $\geq 0,70$; Sedang $0,30$ – $0,69$; Rendah $<0,30$

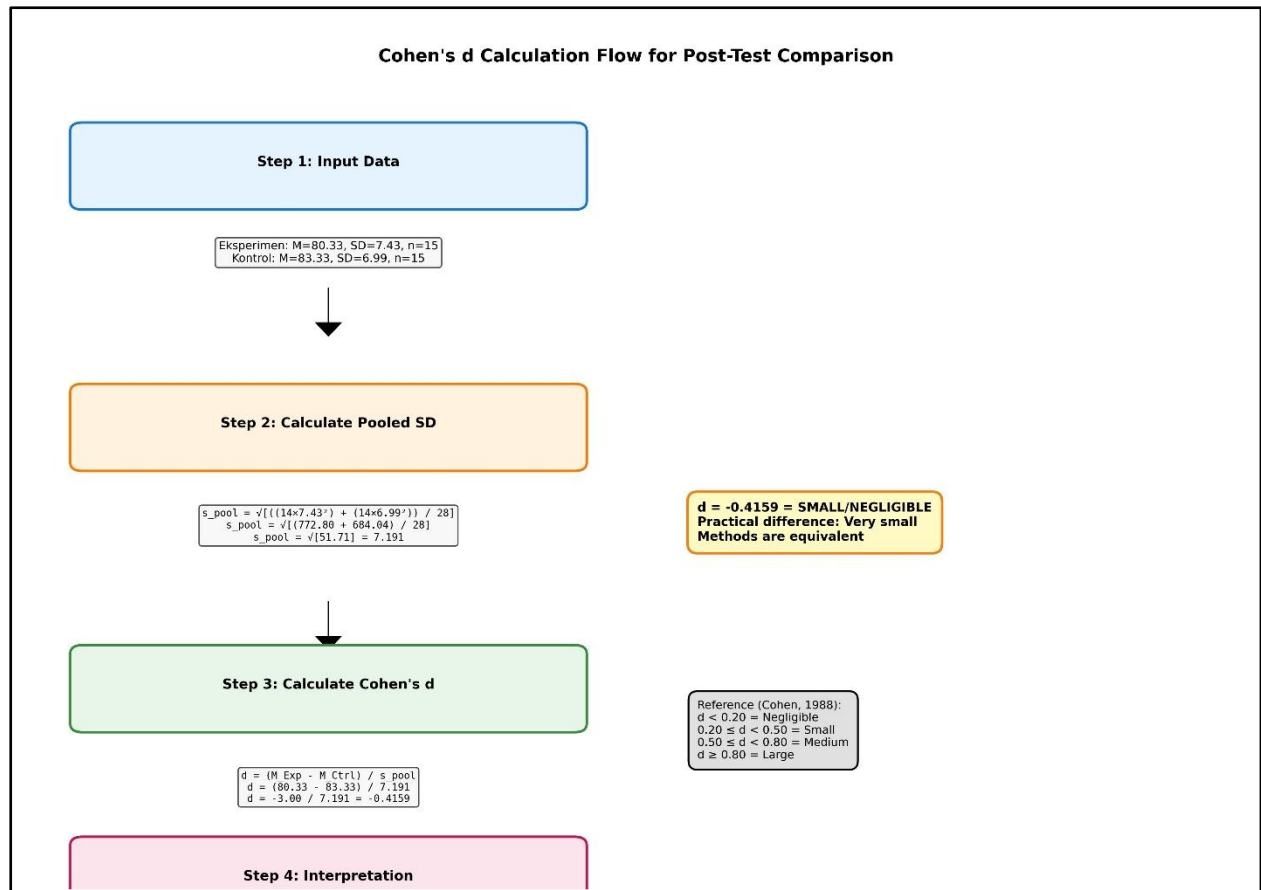
Tabel 7 menunjukkan bahwa kedua kelas memiliki N-Gain dalam kategori Tinggi, namun selisih 0,022 sangat kecil dan berada dalam margin error statistik. Artinya, efisiensi peningkatan kedua kelas relatif setara. Gambar 2 secara visual mengonfirmasi bahwa perbedaan N-Gain sangat marginal dan tidak bermakna secara praktis.

3.2.4 Analisis Effect Size (Cohen's d)

Untuk melengkapi analisis signifikansi statistik, dilakukan perhitungan effect size menggunakan Cohen's d guna mengukur besarnya perbedaan praktis antara kedua kelas. Effect size mengukur besarnya praktis dari perbedaan yang ditemukan dalam penelitian, independen dari signifikansi statistik (Cohen, 1988). Rumus yang digunakan

adalah $d = (M_1 - M_2) / s_{\text{pool}}$, di mana s_{pool} adalah pooled standard deviation dari kedua kelompok.

Gambar 4 mengilustrasikan alur perhitungan Cohen's d secara sistematis. Berdasarkan data post-test (Eksperimen: $M=80,33$; $SD=7,43$; $n=15$ dan Kontrol: $M=83,33$; $SD=6,99$; $n=15$), diperoleh pooled standard deviation $s_{\text{pool}} = \sqrt{[(14 \times 7,43^2) + (14 \times 6,99^2)] / 28} = \sqrt{51,71} = 7,191$, sehingga $d = (80,33 - 83,33) / 7,191 = -0,4159$.



Gambar 4. Alur Perhitungan Cohen's d untuk Perbandingan Post-Test

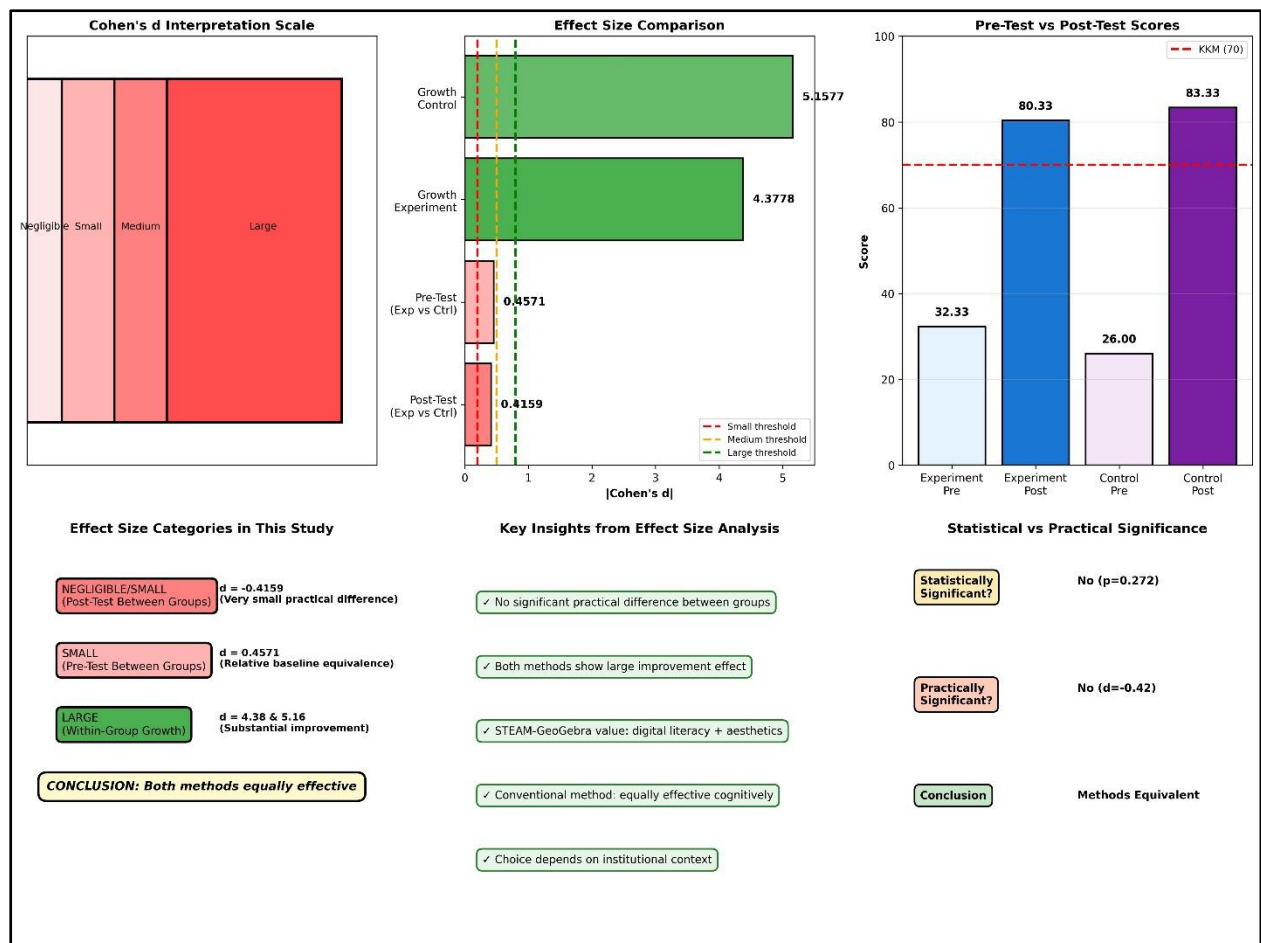
Tabel 8 berikut merangkum seluruh hasil perhitungan Cohen's d untuk berbagai perbandingan yang relevan dalam penelitian ini.

Tabel 8. Ringkasan Hasil Perhitungan Cohen's d

Perbandingan	Cohen's d	Interpretasi	Kategori Efek
Post-Test (Eksperimen vs Kontrol)	-0,4159	Small ($0,20 \leq d < 0,50$)	Negligible
Pre-Test (Eksperimen vs Kontrol)	0,4571	Small ($0,20 \leq d < 0,50$)	Small
Peningkatan Intra-Kelas Eksperimen	4,3778	Large ($d \geq 0,80$)	Large
Peningkatan Intra-Kelas Kontrol	5,1577	Large ($d \geq 0,80$)	Large

Sumber: Data penelitian, 2025

Gambar 5 menyajikan visualisasi komprehensif hasil analisis effect size. Berdasarkan Tabel 8 dan Gambar 5, terdapat beberapa temuan penting: (1) Post-Test Cohen's $d = -0,4159$ (Negligible/Small): Perbedaan post-test antara kelas eksperimen dan kontrol sangat kecil secara praktis, mengkonfirmasi hasil uji t yang tidak signifikan ($p=0,272$). Ini berarti kedua pendekatan pembelajaran menghasilkan pencapaian yang setara. (2) Within-Group Effect Size besar: Kelas eksperimen ($d=4,3778$) dan kontrol ($d=5,1577$) sama-sama menunjukkan effect size kategori Large, yang berarti peningkatan dari pre-test ke post-test sangat substansial dan bermakna secara praktis pada kedua kelas. (3) Pre-Test Cohen's $d = 0,4571$ (Small): Terdapat perbedaan kecil pada baseline yang perlu diperhatikan dalam interpretasi.



Gambar 5. Visualisasi Komprehensif Analisis Cohen's d

Kombinasi hasil uji statistik ($p=0,272$) dan effect size (Cohen's $d = -0,4159$ yang tergolong negligible/small) memberikan kesimpulan yang lebih nuans dan komprehensif: tidak ada perbedaan signifikan secara statistik maupun secara praktis antara kedua metode pembelajaran. Implikasi praktis nilai effect size ini di kelas sangat penting untuk dipahami: Cohen's $d = -0,4159$ berarti perbedaan antara kedua kelompok hanya setara dengan kurang dari setengah standar deviasi (7,2 poin), yang dalam konteks pembelajaran riil tidak bermakna secara pedagogis. Artinya, seorang guru SMK tidak perlu khawatir bahwa memilih pembelajaran konvensional akan secara signifikan

merugikan perkembangan kemampuan representasi visual siswa dibandingkan menggunakan STEAM-GeoGebra, dan sebaliknya. Yang justru bermakna secara praktis adalah within-group effect size yang besar ($d=4,38$ dan $d=5,16$), yang menunjukkan bahwa kedua pendekatan pembelajaran —jika diimplementasikan dengan kualitas dan intensitas yang memadai— mampu menghasilkan peningkatan yang substansial dan bermakna dalam kemampuan representasi visual matematis siswa. Dengan demikian, pemilihan antara pendekatan STEAM-GeoGebra dan pembelajaran konvensional sebaiknya didasarkan pada pertimbangan kontekstual: ketersediaan infrastruktur teknologi, kompetensi guru dalam mengoperasikan GeoGebra, tujuan pembelajaran holistik institusi, dan karakteristik gaya belajar siswa. Temuan ini selaras dengan prinsip pelaporan effect size yang direkomendasikan oleh American Psychological Association (APA) dan berbagai jurnal pendidikan bereputasi (Cumming, 2012; Nakagawa & Cuthill, 2007).

3.2.5 Nilai Tambah STEAM Berbantuan GeoGebra

Meski pencapaian post-test tidak berbeda signifikan secara statistik, pendekatan STEAM berbantuan GeoGebra menawarkan nilai tambah kualitatif yang penting: Pertama, literasi digital dan kompetensi teknis dalam menggunakan software GeoGebra—kompetensi yang relevan untuk siswa SMK TKJ dan tidak terukur dalam instrumen penelitian. Kedua, pengalaman estetis dan apresiasi visual melalui integrasi Art dalam STEAM, menyentuh domain afektif siswa (Costa, Melo, & Morais, 2022). Ketiga, kontekstualisasi praktis untuk profesi teknik yang menghubungkan transformasi geometri dengan aplikasi desain grafis dan arsitektur (Misfeldt & Sanne, 2021).

3.2.6 Sintesis dan Implikasi Pedagogis

Penelitian ini mengkonfirmasi bahwa pembelajaran STEAM berbantuan GeoGebra dan pembelajaran konvensional menghasilkan outcomes kognitif yang SETARA dalam hal penguasaan kemampuan representasi visual matematis. Perbedaan keduanya terletak pada dimensi kualitatif: nilai tambah STEAM dalam literasi digital, estetis, dan kontekstualisasi praktis. Implikasi pedagogis: guru matematika SMK dapat memilih pendekatan berdasarkan konteks sekolah, ketersediaan teknologi, dan kompetensi guru. Keduanya valid dan efektif.

4. SIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil dan pembahasan, penelitian ini menghasilkan tiga temuan inti. Pertama, kedua pendekatan pembelajaran—STEAM berbantuan GeoGebra maupun pembelajaran konvensional—secara nyata dan efektif meningkatkan kemampuan representasi visual matematis siswa pada materi transformasi geometri, dibuktikan oleh N-Gain kategori Tinggi ($\geq 0,70$) pada kedua kelas. Kedua, tidak terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik maupun praktis antara pencapaian akhir kedua kelas ($\text{sig.}=0,272$; Cohen's $d=-0,42$), yang mengimplikasikan kesetaraan efektivitas kognitif kedua metode dalam konteks penelitian ini. Ketiga, pendekatan STEAM berbantuan GeoGebra menawarkan nilai tambah kualitatif yang tidak terukur oleh instrumen tes semata, meliputi peningkatan literasi digital, pengalaman belajar estetis-kreatif, dan kontekstualisasi kompetensi yang relevan bagi profil lulusan SMK TKJ. Kontribusi penelitian ini bagi pengembangan pembelajaran matematika SMK adalah menyediakan bukti empiris bahwa integrasi teknologi digital (GeoGebra) dalam kerangka STEAM

merupakan alternatif pembelajaran berbasis teknologi yang valid, layak, dan kontekstual untuk diterapkan di SMK, khususnya dalam mendukung pengembangan kompetensi holistik siswa yang melampaui pencapaian kognitif semata. Penelitian ini juga berkontribusi pada pengembangan metodologi penelitian pendidikan di Indonesia dengan mendemonstrasikan pentingnya pelaporan effect size sebagai pelengkap signifikansi statistik dalam menginterpretasi temuan penelitian secara komprehensif.

Implikasi pedagogis penelitian ini bagi guru matematika SMK adalah: (1) pemilihan antara STEAM-GeoGebra dan metode konvensional dapat disesuaikan dengan konteks dan sumber daya yang tersedia, karena keduanya terbukti efektif; (2) nilai utama STEAM-GeoGebra terletak pada pengayaan pengalaman belajar dan pengembangan literasi digital, bukan semata pada keunggulan skor; dan (3) kualitas implementasi — kedalaman eksplorasi, intensitas latihan, dan kompetensi pedagogis guru— merupakan faktor penentu utama efektivitas pembelajaran, terlepas dari pendekatan yang dipilih.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan ucapan terima kasih setinggi-tingginya kepada tim validator ahli atas masukan konstruktifnya. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada pimpinan dan majelis guru SMK Widyagama Malang atas fasilitasi dan izin yang diberikan, serta kepada seluruh siswa Kelas X TKJ A dan TKJ B atas partisipasi aktifnya selama proses penelitian berlangsung.

6. REKOMENDASI

Berdasarkan temuan dan keterbatasan penelitian, rekomendasi berikut diajukan. Bagi guru matematika SMK yang ingin mengimplementasikan pembelajaran STEAM berbantuan GeoGebra: (a) mulailah dengan aktivitas eksplorasi sederhana menggunakan fitur transformasi GeoGebra (menu Transform), kemudian tingkatkan kompleksitas secara bertahap; (b) desain aktivitas yang mengintegrasikan konteks desain grafis atau arsitektur yang relevan dengan kompetensi keahlian siswa; (c) sediakan lembar kerja terstruktur yang membimbing siswa mendokumentasikan observasi visual mereka selama eksplorasi GeoGebra; dan (d) lakukan penilaian formatif berbasis representasi visual (sketsa, diagram, konstruksi GeoGebra) untuk memonitor perkembangan setiap indikator secara berkala. Bagi peneliti selanjutnya, disarankan: (1) melakukan studi dengan sampel lebih besar dan multi-sekolah untuk mengurangi *ceiling effect*; (2) merancang instrumen yang lebih komprehensif (≥ 10 soal); (3) mengukur retensi jangka panjang; (4) mengintegrasikan metode kualitatif untuk mengkaji nilai tambah STEAM secara mendalam; (5) menyelidiki variabel mediasi seperti motivasi dan efikasi diri; serta (6) melakukan perbandingan lintas program keahlian di SMK.

7. REFERENSI

- Baki, A., & Guven, B. (2021). The effects of dynamic geometry software on pre-service mathematics teachers' spatial visualization abilities. *Mathematics Teacher Education and Development*, 23(1), 50–68.
- Birgin, O., Acar, H., & Çoban, G. K. (2020). The effect of using GeoGebra on student achievement and self-efficacy in mathematics education. *Mathematics Education Research Journal*, 32(2), 213–231. <https://doi.org/10.1007/s13394-019-00280-7>

- Costa, C., Melo, M. F., & Morais, E. (2022). STEAM learning in vocational education: A systematic review and meta-analysis. *Educational Research Review*, 35, 100426. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2021.100426>
- Duval, R., & Lequin, M. (2018). Geometry and the visualisation of geometric transformations. *Mathematics Education Research Journal*, 30(3), 415–432. <https://doi.org/10.1007/s13394-018-00234-8>
- Hennessy, S., Faux, R., & Deane, R. (2017). Technology, curriculum and professional development: What do teachers think? *Technology, Pedagogy and Education*, 26(4), 451–469. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2017.1353059>
- Kunkle, D., & Sriraman, B. (2022). The role of visualization in mathematical problem-solving: A systematic literature review. *Journal of Mathematics and Science Education*, 15(2), 156–180.
- Larson, N., & Basaraba, D. (2021). Teacher implementation of visual representations in mathematics: A meta-analysis of intervention studies. *Educational Psychology Review*, 33(1), 195–223. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09532-2>
- Misfeldt, M., & Sanne, A. (2021). What do we know about the use of dynamic geometry software in vocational education? A systematic literature review. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 19(5), 987–1007.
- Nachtigall, V., & Deutschmann, K. (2019). GeoGebra in geometry instruction: Effects on student learning and conceptual understanding. *Computers & Education*, 140, 103598. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103598>
- Perignat, E., & Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: An integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 31–43.
- Saha, R. A., Ayub, A. F. M., & Tarmizi, R. A. (2020). The effects of GeoGebra on mathematics achievement: A meta-analysis. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 15(3), em0594. <https://doi.org/10.29333/iejme/8686>
- Stoica, A., Martínez-Riaño, J. M., & Catalán-Ros, G. (2019). Problem-based learning with technology in vocational mathematics education. *European Journal of Engineering Education*, 44(6), 875–891. <https://doi.org/10.1080/03043797.2019.1671718>
- Tatar, E., Zengin, Y., & Kağızmanlı, T. B. (2021). Virtual manipulatives in mathematics education: A systematic review. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 52(7), 1110–1130. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2020.1868071>
- van der Steen, J. T., Biemans, H. J. A., Wesselink, R., & Mulder, M. (2016). Towards sustainable vocational education: design of an instrument for evaluating vocational schools on sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 135, 1199–1211. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.102>
- Williams, M. R., & Sheridan, K. (2023). Integrating STEAM across the curriculum: Effects on student engagement and mathematical reasoning. *Journal of Technology and Teacher Education*, 31(2), 215–242. <https://doi.org/10.1080/15391523.2023.2165418>
- Yunianta, T. N. H., & Rudhito, M. A. (2020). Kemampuan representasi matematis siswa SMP dalam menyelesaikan soal PISA menggunakan GeoGebra. *Jurnal Pendidikan Matematika*, 14(1), 45–58. <https://doi.org/10.22342/jpm.14.1.6866.45-58>
- Supriadi, N., & Damayanti, R. (2016). Analisis kemampuan komunikasi matematis siswa dalam pembelajaran dengan pendekatan inkuiri. *Al-Jabar: Jurnal Pendidikan Matematika*, 7(2), 105–116. <https://doi.org/10.24042/ajpm.v7i2.31>

- Rahmawati, Y., & Ridwan, A. (2022). Penerapan STEM berbasis budaya lokal dalam meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa SMK. *Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan*, 3(1), 12–24.
- Lestari, K. E., & Yudhanegara, M. R. (2017). *Penelitian Pendidikan Matematika*. Bandung: PT Refika Aditama.