

**ANALISIS KEMAMPUAN BERPIKIR GEOMETRI SISWA SMA PADA
KOORDINASI REPRESENTASI SIMBOLIK DAN GRAFIK
FUNGSI KUADRAT BERBANTUAN GEOGEBRA**

Josia Rolando¹, Fiki Alghadari², Bella Arisha³

^{1,2,3}Universitas Jambi

¹Josiarolando02@gmail.com, ²fikialghadari@unja.ac.id, ³bellaarisha@unja.ac.id

ABSTRACT

This study aims to analyze senior high school students' geometric thinking ability in coordinating symbolic and graphical representations of quadratic functions assisted by GeoGebra. The research employed a qualitative approach with a case study design. The subjects were 30 students of Grade X Phase E1 at SMA Negeri 8 Muaro Jambi in the second semester of the 2025/2026 academic year. Data were collected through a geometric thinking ability test, semi-structured interviews, and documentation. The research instruments were validated by two experts in mathematics education before being used in the data collection process. The data were analyzed qualitatively through data reduction, data display, and conclusion drawing, while data credibility was ensured through technique triangulation. The findings showed that students' geometric thinking ability varied across Van Hiele levels. Five students were at Level 0 or visualization, 14 students were at Level 1 or analysis, three students were at Level 2 or abstraction, and eight students were at Level 3 or deduction. Most students were at the analysis level, indicating that they were able to identify several properties of quadratic function graphs but had not fully explained the relationship between symbolic and graphical representations systematically. GeoGebra supported students in visualizing the relationship between quadratic equations and parabolic graphs dynamically. Therefore, the higher the students' geometric thinking level, the better their ability to coordinate symbolic and graphical representations of quadratic functions.

Keywords: Geometric Thinking; Geogebra; Graphical Representation; Quadratic Function; Symbolic Representations

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan berpikir geometri siswa SMA dalam mengoordinasikan representasi simbolik dan grafik fungsi kuadrat berbantuan GeoGebra. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus. Subjek penelitian adalah 30 siswa kelas X Fase E1 SMA Negeri 8 Muaro Jambi pada semester genap tahun ajaran 2025/2026. Data dikumpulkan melalui tes kemampuan berpikir geometri, wawancara semi-terstruktur, dan dokumentasi. Instrumen penelitian divalidasi oleh dua ahli pendidikan matematika sebelum digunakan dalam proses pengumpulan data. Analisis data dilakukan

secara kualitatif melalui reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan, sedangkan keabsahan data dijaga melalui triangulasi teknik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan berpikir geometri siswa berada pada level yang beragam berdasarkan teori Van Hiele. Sebanyak 5 siswa berada pada Level 0 atau visualisasi, 14 siswa pada Level 1 atau analisis, 3 siswa pada Level 2 atau abstraksi, dan 8 siswa pada Level 3 atau deduksi. Sebagian besar siswa berada pada level analisis, yang menunjukkan bahwa siswa telah mampu mengidentifikasi beberapa sifat grafik fungsi kuadrat, tetapi belum sepenuhnya mampu menjelaskan hubungan antara representasi simbolik dan grafik secara sistematis. GeoGebra membantu siswa memvisualisasikan hubungan antara persamaan fungsi kuadrat dan grafik parabola secara dinamis. Dengan demikian, semakin tinggi level berpikir geometri siswa, semakin baik kemampuan siswa dalam mengoordinasikan representasi simbolik dan grafik fungsi kuadrat.

Kata Kunci: *Berpikir Geometri; Fungsi Kuadrat; Geogebra; Representasi Grafik; Representasi Simbolik*

A. Pendahuluan

Matematika memiliki peran strategis dalam mengembangkan kemampuan berpikir logis, analitis, sistematis, dan reflektif peserta didik pada berbagai jenjang pendidikan (Ilhami, 2022). Pembelajaran matematika tidak hanya berorientasi pada penguasaan prosedur perhitungan, tetapi juga diarahkan untuk membangun pemahaman konseptual yang memungkinkan siswa menafsirkan hubungan antarobjek matematika secara bermakna (Castillo et al., 2025). Pemahaman konseptual diperlukan karena objek matematika bersifat abstrak sehingga membutuhkan representasi yang dapat membantu siswa membangun makna secara

simbolik, visual, maupun verbal (Duval, 2006). Dalam konteks pembelajaran matematika modern, proses pembelajaran perlu dirancang agar mampu mendorong eksplorasi, komunikasi matematis, dan pemanfaatan teknologi secara tepat guna mendukung pembentukan pemahaman yang mendalam (Castillo, Marín León, Celiz, Alarcón, & Chunga More, 2025).

Kemampuan representasi matematis merupakan salah satu aspek penting dalam pembelajaran matematika karena berperan dalam membantu siswa menyajikan, menafsirkan, dan mengomunikasikan ide matematika melalui berbagai bentuk representasi (Anwar,

Rahmawati, & Wulandari, 2025). Representasi matematis menjadi jembatan antara objek matematika yang bersifat abstrak dan aktivitas berpikir siswa dalam membangun pemahaman konseptual (Godino, Batanero, Burgos, & Wilhelmi, 2024). Kemampuan representasi tidak hanya berkaitan dengan penggunaan simbol, gambar, tabel, atau grafik, tetapi juga mencakup kemampuan mengubah dan mengoordinasikan berbagai bentuk representasi secara tepat (Ferretti, Gambini, & Spagnolo, 2024). Kesulitan siswa dalam memahami konsep matematika sering kali disebabkan oleh keterbatasan dalam menghubungkan satu bentuk representasi dengan bentuk representasi lainnya (Duval, 2006). Oleh karena itu, pembelajaran matematika perlu memberikan kesempatan kepada siswa untuk membangun keterkaitan antara representasi simbolik, grafik, verbal, dan visual secara terintegrasi (Sokolowski, 2018).

Representasi simbolik memiliki kedudukan penting dalam matematika karena digunakan untuk menyatakan hubungan matematis melalui angka, variabel, operasi, persamaan, dan

notasi formal (Bayty, Nizaruddin, & Muhtarom, 2025). Representasi grafik juga memiliki peran esensial karena mampu menyajikan hubungan antarvariabel dalam bentuk visual yang dapat diamati dan dianalisis secara lebih konkret (Ogbonnaya & Mushipe, 2020). Kedua bentuk representasi tersebut saling melengkapi karena simbol memberikan struktur formal, sedangkan grafik memberikan gambaran visual terhadap makna dari struktur tersebut (Hutajulu, Perbowo, Alghadari, Minarti, & Hidayat, 2022). Koordinasi antara representasi simbolik dan grafik menjadi indikator penting dalam memahami konsep matematika secara mendalam karena siswa perlu menafsirkan hubungan antara bentuk aljabar dan bentuk visualnya (Ferretti et al., 2024). Apabila siswa hanya menguasai prosedur simbolik tanpa memahami makna grafiknya, maka pemahaman yang terbentuk cenderung mekanistik dan belum menunjukkan penguasaan konsep secara utuh (Moore, 2021).

Fungsi kuadrat merupakan salah satu materi matematika SMA yang menuntut kemampuan koordinasi antara representasi simbolik dan

grafik secara kuat (Sigalingging & Siregar, 2025). Fungsi kuadrat tidak hanya dipahami sebagai persamaan berbentuk $f(x) = ax^2 + bx + c$, tetapi juga sebagai objek matematika yang memiliki karakteristik grafik berupa parabola (Seto, Musdin, Se'a, Kue, & Lue, 2025). Pemahaman terhadap fungsi kuadrat menuntut siswa untuk mampu menafsirkan pengaruh koefisien terhadap arah buka parabola, titik puncak, sumbu simetri, dan titik potong terhadap sumbu koordinat (Ledezma, Vargas, Hidalgo-Moncada, & Font, 2023). Siswa juga perlu memahami bahwa perubahan bentuk simbolik pada persamaan fungsi kuadrat berimplikasi terhadap perubahan bentuk visual pada grafik yang dihasilkan (Azzahroh, Nikmah, & Kriswandani, 2023). Dengan demikian, fungsi kuadrat menjadi materi yang relevan untuk mengkaji kemampuan siswa dalam menghubungkan konsep aljabar dan geometri secara terpadu (Marlinda & Effendi, 2024).

Dalam praktik pembelajaran, sebagian siswa masih mengalami kesulitan ketika diminta menghubungkan persamaan fungsi kuadrat dengan grafik parabola yang

bersesuaian (Elisya, Afgani Dahlan, & Yulianti, 2024). Kesulitan tersebut terlihat ketika siswa mampu melakukan manipulasi aljabar, tetapi belum mampu menjelaskan makna grafik dari hasil penyelesaian yang diperoleh (Moore, 2021). Siswa juga kerap mengalami hambatan dalam menentukan titik puncak, arah buka parabola, sumbu simetri, dan kedudukan grafik terhadap sumbu x secara konseptual (Marlinda & Effendi, 2024). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pemahaman siswa terhadap fungsi kuadrat masih cenderung prosedural dan belum sepenuhnya terintegrasi secara konseptual (Nuratifah, T, Siregar, & Meldi, 2024). Hambatan ini perlu mendapat perhatian karena kemampuan mengoordinasikan representasi merupakan bagian penting dari proses berpikir matematis tingkat lanjut (Anwar et al., 2025).

Permasalahan koordinasi representasi pada materi fungsi kuadrat berkaitan erat dengan kemampuan berpikir geometri siswa (Anwar, 2020). Kemampuan berpikir geometri menggambarkan cara siswa mengenali, menganalisis, menghubungkan, dan menalar objek

matematika yang memiliki unsur visual serta spasial (Rahayu, Mawarsari, & Suprpto, 2023). Dalam konteks fungsi kuadrat, kemampuan berpikir geometri tampak ketika siswa memahami grafik parabola sebagai objek visual yang memiliki sifat tertentu dan berhubungan dengan bentuk simbolik persamaannya (Hidayati, Sukowati, Hastuti, & Sukimin, 2025). Kemampuan ini tidak hanya mencakup pengenalan bentuk parabola, tetapi juga mencakup pemahaman terhadap hubungan antara koefisien, titik puncak, sumbu simetri, dan kedudukan grafik terhadap sumbu koordinat (Sigalingging & Siregar, 2025). Oleh karena itu, analisis kemampuan berpikir geometri dapat memberikan gambaran mengenai kedalaman pemahaman siswa dalam mengoordinasikan representasi simbolik dan grafik fungsi kuadrat (Hutajulu et al., 2022).

Teori Van Hiele dapat digunakan sebagai kerangka untuk mengkaji perkembangan kemampuan berpikir geometri siswa secara bertahap (Anwar, 2020). Teori ini menjelaskan bahwa kemampuan berpikir geometri berkembang melalui beberapa level,

yaitu visualisasi, analisis, deduksi informal, deduksi, dan rigor (Süzen & Ünver, 2025). Pada level visualisasi, siswa mengenali objek berdasarkan bentuk umum yang tampak tanpa memahami sifat matematisnya secara formal (Anwar, 2020). Pada level analisis, siswa mulai mengidentifikasi sifat-sifat objek, tetapi belum mampu memahami hubungan antar-sifat secara sistematis (Elbehary, 2023). Pada level deduksi informal dan deduksi, siswa mulai membangun hubungan antar-sifat serta menggunakan penalaran logis untuk menjelaskan keterkaitan konsep matematika secara lebih terstruktur (Süzen & Ünver, 2025). Dengan demikian, teori Van Hiele relevan digunakan untuk menganalisis kemampuan siswa dalam memahami hubungan antara representasi grafik dan representasi simbolik fungsi kuadrat (Wulandari & Ishartono, 2022).

Upaya untuk membantu siswa menghubungkan representasi simbolik dan grafik dapat dilakukan melalui penggunaan media pembelajaran berbasis teknologi (Aprilian, 2024). GeoGebra merupakan salah satu perangkat

lunak matematika yang memungkinkan siswa memvisualisasikan hubungan antara persamaan dan grafik secara dinamis (Hohenwarter & Fuchs, 2016). Melalui GeoGebra, perubahan nilai koefisien pada fungsi kuadrat dapat langsung diamati melalui perubahan bentuk, posisi, dan arah buka grafik parabola (Seto et al., 2025). Visualisasi interaktif tersebut membantu siswa memahami hubungan sebab-akibat antara struktur simbolik persamaan dan karakteristik grafik yang terbentuk (Nuratifah et al., 2024). Penggunaan GeoGebra juga dapat meningkatkan kualitas pengalaman belajar karena siswa dapat melakukan eksplorasi konsep secara langsung, bukan sekadar menerima informasi secara pasif (Fathurrahman & Fitrah, 2023).

Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa GeoGebra berkontribusi positif terhadap peningkatan pemahaman konsep dan hasil belajar matematika siswa (Zulnaldi, Oktavika, & Hidayat, 2020). Pembelajaran berbantuan GeoGebra dapat membantu siswa memahami konsep fungsi kuadrat karena perubahan grafik dapat diamati secara visual dan interaktif (Siregar, Saragih,

Ginting, Simamora, Ginting, & Manik, 2024). GeoGebra juga mendukung kemampuan representasi visual matematis karena siswa dapat menghubungkan bentuk simbolik dengan grafik secara langsung melalui tampilan dinamis (Nuratifah et al., 2024). Selain itu, pembelajaran berbantuan teknologi dapat meningkatkan keterlibatan siswa dalam memahami hubungan antarobjek matematika yang sulit dipahami secara abstrak (Hidayat, 2024). Dengan demikian, GeoGebra memiliki potensi untuk mendukung pengembangan kemampuan berpikir geometri siswa pada materi fungsi kuadrat (Hidayati et al., 2025).

Meskipun GeoGebra telah banyak dikaji dalam pembelajaran matematika, penelitian yang secara khusus menganalisis kemampuan berpikir geometri siswa SMA dalam mengoordinasikan representasi simbolik dan grafik fungsi kuadrat berbantuan GeoGebra masih perlu dikembangkan (Elbehary, 2023). Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih menekankan pengaruh GeoGebra terhadap hasil belajar, pemahaman konsep, atau kemampuan representasi secara

umum (Zulnaidi et al., 2020). Kajian yang memadukan teori Van Hiele, koordinasi representasi simbolik-grafik, dan materi fungsi kuadrat penting dilakukan karena dapat memberikan gambaran lebih mendalam mengenai proses berpikir siswa (Ramadhani & Junaedi, 2025). Setiap level berpikir geometri menunjukkan karakteristik yang berbeda dalam cara siswa memahami grafik, simbol, dan hubungan antara keduanya (Anwar, 2020). Oleh karena itu, analisis berbasis level Van Hiele dapat membantu guru mengidentifikasi kebutuhan belajar siswa secara lebih spesifik dan merancang pembelajaran yang lebih tepat (Süzen & Ünver, 2025).

Penelitian ini berfokus pada analisis kemampuan berpikir geometri siswa SMA dalam mengoordinasikan representasi simbolik dan grafik fungsi kuadrat berbantuan GeoGebra. Fokus tersebut didasarkan pada pentingnya pemahaman siswa terhadap hubungan antara bentuk persamaan fungsi kuadrat dan karakteristik grafik parabola dalam pembelajaran matematika. Analisis dilakukan dengan menggunakan teori Van Hiele sebagai dasar untuk mengidentifikasi

level berpikir geometri siswa dalam memahami dan menjelaskan hubungan antara representasi simbolik dan grafik. Melalui penelitian ini, diharapkan diperoleh gambaran yang komprehensif mengenai kemampuan siswa dalam mengoordinasikan representasi simbolik dan grafik fungsi kuadrat. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan pembelajaran matematika yang lebih konseptual, visual, dan berbasis teknologi.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan jenis studi kasus. Rancangan ini digunakan untuk menganalisis secara mendalam kemampuan berpikir geometri siswa dalam mengoordinasikan representasi simbolik dan grafik fungsi kuadrat berbantuan GeoGebra. Materi yang diteliti adalah fungsi kuadrat, khususnya hubungan antara bentuk simbolik $f(x) = ax^2 + bx + c$ dan grafik parabola.

Tahapan penelitian dilakukan secara operasional melalui beberapa langkah. Pertama, peneliti menyusun instrumen tes kemampuan berpikir geometri dan pedoman wawancara

berdasarkan indikator teori Van Hiele serta koordinasi representasi simbolik dan grafik fungsi kuadrat. Kedua, instrumen divalidasi oleh dua validator ahli untuk menilai kelayakan isi, bahasa, konstruksi, dan kesesuaian indikator. Ketiga, peneliti memberikan tes kemampuan berpikir geometri kepada seluruh subjek penelitian. Keempat, hasil tes dianalisis untuk mengelompokkan siswa ke dalam level berpikir geometri Van Hiele. Kelima, peneliti memilih subjek wawancara berdasarkan keterwakilan level kemampuan. Keenam, wawancara semi-terstruktur dilakukan untuk menggali proses berpikir siswa secara lebih mendalam. Ketujuh, data hasil tes, wawancara, dan dokumentasi dianalisis serta dibandingkan melalui triangulasi teknik.

Subjek, Lokasi, dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di SMA Negeri 8 Muaro Jambi yang beralamat di Jalan Lintas Sumatera, Rengas Bandung, Kecamatan Jambi Luar Kota, Kabupaten Muaro Jambi, Provinsi Jambi. Waktu penelitian berlangsung pada semester genap

tahun ajaran 2025/2026, yaitu pada 7–15 Mei 2026.

Subjek penelitian adalah 30 siswa kelas X Fase E1 SMA Negeri 8 Muaro Jambi. Subjek terdiri atas 14 siswa laki-laki dan 16 siswa perempuan. Pemilihan kelas X Fase E1 didasarkan pada pertimbangan bahwa siswa pada jenjang tersebut telah mempelajari materi fungsi kuadrat dan sesuai dengan fokus penelitian. Seluruh siswa diberikan tes kemampuan berpikir geometri. Selanjutnya, beberapa siswa dipilih sebagai subjek wawancara secara purposive berdasarkan keterwakilan level berpikir geometri yang diperoleh dari hasil tes.

3. Materi Penelitian

Materi yang digunakan dalam penelitian ini adalah fungsi kuadrat. Fokus materi meliputi bentuk umum fungsi kuadrat $f(x) = ax^2 + bx + c$, arah buka parabola, titik puncak, sumbu simetri, titik potong terhadap sumbu koordinat, diskriminan, dan hubungan antara perubahan koefisien dengan bentuk grafik parabola.

Materi tersebut dianalisis melalui koordinasi representasi simbolik dan grafik. Representasi simbolik

ditunjukkan melalui persamaan fungsi kuadrat, sedangkan representasi grafik ditunjukkan melalui bentuk parabola pada bidang koordinat. GeoGebra digunakan sebagai media bantu visualisasi agar siswa dapat mengamati hubungan antara perubahan bentuk simbolik dan perubahan grafik secara dinamis.

Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian terdiri atas tes kemampuan berpikir geometri dan pedoman wawancara semi-terstruktur. Tes kemampuan berpikir geometri digunakan untuk memperoleh data mengenai kemampuan siswa dalam mengoordinasikan representasi simbolik dan grafik fungsi kuadrat. Butir soal disusun berdasarkan indikator berpikir geometri Van Hiele, yaitu visualisasi, analisis, abstraksi, dan deduksi.

Indikator tes mencakup kemampuan siswa dalam mengenali bentuk grafik parabola, mengidentifikasi arah buka parabola, menentukan titik puncak, menentukan sumbu simetri, menentukan titik potong grafik terhadap sumbu koordinat, menjelaskan pengaruh

koefisien terhadap grafik, serta menghubungkan persamaan fungsi kuadrat dengan bentuk grafiknya. Pedoman wawancara digunakan untuk menggali proses berpikir siswa, alasan penyelesaian, strategi yang digunakan, dan pemahaman siswa terhadap hubungan antara representasi simbolik dan grafik fungsi kuadrat berbantuan GeoGebra.

Validasi Instrumen

Validasi instrumen dilakukan sebelum pengumpulan data. Instrumen tes kemampuan berpikir geometri dan pedoman wawancara divalidasi oleh dua validator ahli dari bidang pendidikan matematika. Validasi dilakukan untuk menilai kesesuaian instrumen dengan tujuan penelitian, indikator teori Van Hiele, materi fungsi kuadrat, keterhubungan representasi simbolik dan grafik, kejelasan bahasa, serta kelayakan penggunaan GeoGebra dalam mendukung proses eksplorasi siswa.

Hasil validasi digunakan sebagai dasar revisi instrumen. Revisi dilakukan pada redaksi soal, kejelasan tampilan grafik, kesesuaian indikator, dan urutan pertanyaan wawancara. Setelah revisi dilakukan,

instrumen dinyatakan layak digunakan untuk pengumpulan data penelitian.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui tes, wawancara, dan dokumentasi. Tes diberikan kepada 30 siswa untuk mengidentifikasi kemampuan berpikir geometri dalam mengoordinasikan representasi simbolik dan grafik fungsi kuadrat. Hasil tes digunakan untuk mengelompokkan siswa ke dalam level berpikir geometri berdasarkan teori Van Hiele.

Wawancara dilakukan setelah hasil tes dianalisis. Wawancara diberikan kepada subjek yang dipilih secara purposive untuk mewakili setiap level kemampuan berpikir geometri. Wawancara bertujuan untuk memperjelas jawaban tertulis siswa, menggali alasan penyelesaian, dan memahami proses berpikir siswa ketika menghubungkan bentuk simbolik dan grafik fungsi kuadrat. Dokumentasi digunakan untuk melengkapi data penelitian, berupa lembar jawaban siswa, catatan wawancara, rekaman wawancara, dan dokumentasi penggunaan GeoGebra.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kualitatif melalui reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Data hasil tes dianalisis berdasarkan ketepatan jawaban siswa, kesesuaian jawaban dengan indikator berpikir geometri Van Hiele, dan kemampuan siswa dalam mengoordinasikan representasi simbolik dan grafik fungsi kuadrat. Hasil analisis tes digunakan untuk mengelompokkan siswa ke dalam Level 0 visualisasi, Level 1 analisis, Level 2 abstraksi, dan Level 3 deduksi.

Data wawancara dianalisis melalui transkripsi, pemilahan pernyataan penting, pengodean berdasarkan indikator kemampuan berpikir geometri, dan interpretasi proses berpikir siswa. Data dokumentasi dianalisis untuk mendukung hasil tes dan wawancara. Keabsahan data dilakukan melalui triangulasi teknik dengan membandingkan hasil tes, wawancara, dan dokumentasi pada subjek yang sama. Triangulasi digunakan untuk memastikan konsistensi data dan mengurangi

kesalahan interpretasi dalam penarikan kesimpulan.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Hasil Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di SMA Negeri 8 Muaro Jambi pada siswa kelas X Fase E1. Jumlah siswa yang terlibat dalam penelitian sebanyak 30 siswa, terdiri atas 14 siswa laki-laki dan 16 siswa perempuan. Pelaksanaan penelitian dilakukan pada 7–15 Mei 2026. Data penelitian diperoleh melalui tes kemampuan berpikir geometri, wawancara semi-terstruktur, dan dokumentasi hasil kerja siswa. Fokus utama penelitian adalah kemampuan berpikir geometri siswa dalam mengoordinasikan representasi simbolik dan grafik fungsi kuadrat berbantuan GeoGebra.

Sebelum pengumpulan data dilakukan, instrumen penelitian terlebih dahulu divalidasi oleh dua validator ahli dari bidang pendidikan matematika. Instrumen yang divalidasi meliputi lembar tes kemampuan berpikir geometri dan pedoman wawancara. Validasi dilakukan untuk memastikan bahwa instrumen sesuai dengan tujuan penelitian, indikator

teori Van Hiele, materi fungsi kuadrat, keterhubungan representasi simbolik dan grafik, serta penggunaan GeoGebra sebagai media visualisasi. Setelah dilakukan revisi berdasarkan saran validator, instrumen dinyatakan layak digunakan dalam proses pengumpulan data.

Data utama dalam penelitian ini diperoleh dari hasil tes kemampuan berpikir geometri siswa. Tes digunakan untuk mengidentifikasi level berpikir geometri siswa berdasarkan teori Van Hiele. Level yang ditemukan dalam penelitian ini meliputi Level 0 atau visualisasi, Level 1 atau analisis, Level 2 atau abstraksi, dan Level 3 atau deduksi. Setelah hasil tes dianalisis, beberapa siswa dipilih sebagai subjek wawancara untuk mewakili setiap level berpikir geometri. Wawancara digunakan untuk memperdalam informasi mengenai proses berpikir siswa ketika menghubungkan bentuk simbolik fungsi kuadrat dengan grafik parabola.

Hasil Validasi Instrumen Penelitian

Validasi instrumen dilakukan terhadap dua jenis instrumen, yaitu tes kemampuan berpikir geometri dan pedoman wawancara. Tes kemampuan berpikir geometri disusun

untuk mengukur kemampuan siswa dalam mengenali, menganalisis, dan menghubungkan representasi simbolik dan grafik fungsi kuadrat. Pedoman wawancara disusun untuk menggali proses berpikir siswa secara lebih mendalam setelah mereka menyelesaikan tes.

Aspek validasi instrumen tes meliputi kesesuaian materi, kesesuaian indikator dengan teori Van Hiele, konstruksi soal, kejelasan

bahasa, keterbacaan grafik, keterhubungan antara representasi simbolik dan grafik, serta relevansi penggunaan GeoGebra. Aspek validasi pedoman wawancara meliputi kesesuaian pertanyaan dengan tujuan penelitian, keterkaitan pertanyaan dengan indikator berpikir geometri, kejelasan redaksi, urutan pertanyaan, dan kemampuan pertanyaan dalam menggali proses berpikir siswa.

Tabel 1. Hasil Validasi Instrumen Penelitian

No.	Instrumen	Aspek yang Divalidasi	Hasil Validasi	Tindak Lanjut
1	Tes kemampuan berpikir geometri	Kesesuaian materi fungsi kuadrat, indikator Van Hiele, konstruksi soal, bahasa, grafik, dan koordinasi representasi	Layak digunakan dengan revisi	Memperbaiki redaksi soal dan memperjelas tampilan grafik
2	Pedoman wawancara	Kesesuaian pertanyaan, kedalaman pertanyaan, bahasa, urutan pertanyaan, dan keterkaitan dengan indikator	Layak digunakan dengan revisi	Menyusun ulang beberapa pertanyaan dan menambahkan pertanyaan pendukung

Berdasarkan Tabel 1, instrumen penelitian dinyatakan layak digunakan setelah dilakukan revisi. Revisi pada tes kemampuan berpikir geometri terutama dilakukan pada redaksi soal agar lebih mudah dipahami siswa. Tampilan grafik juga diperjelas agar siswa dapat mengamati karakteristik parabola secara tepat. Revisi pada pedoman wawancara dilakukan dengan

memperbaiki urutan pertanyaan agar proses wawancara lebih sistematis dan mampu menggali alasan siswa secara lebih mendalam.

Subjek penelitian adalah 30 siswa kelas X Fase E1 SMA Negeri 8 Muaro Jambi. Seluruh siswa diberikan tes kemampuan berpikir geometri pada materi fungsi kuadrat. Tes tersebut digunakan untuk mengidentifikasi kemampuan siswa

dalam mengoordinasikan dikelompokkan berdasarkan level representasi simbolik dan grafik. berpikir geometri menurut teori Van Hiele. Setelah hasil tes dianalisis, siswa

Tabel 2. Komposisi Subjek Penelitian

No.	Keterangan	Jumlah Siswa	Persentase
1	Laki-laki	14 siswa	46,67%
2	Perempuan	16 siswa	53,33%
Jumlah		30 siswa	100%

Berdasarkan Tabel 2, jumlah siswa perempuan lebih banyak dibandingkan siswa laki-laki. Siswa perempuan berjumlah 16 orang atau 53,33%, sedangkan siswa laki-laki berjumlah 14 orang atau 46,67%. Seluruh siswa mengikuti tes kemampuan berpikir geometri sehingga data yang diperoleh mencerminkan kemampuan seluruh siswa dalam kelas tersebut.

Hasil Tes Kemampuan Berpikir Geometri Siswa

Hasil tes kemampuan berpikir geometri menunjukkan bahwa siswa tersebar pada empat level berpikir geometri, yaitu Level 0, Level 1, Level 2, dan Level 3. Tidak ditemukan siswa yang mencapai Level 4 atau rigor. Pengelompokan level dilakukan berdasarkan ketepatan jawaban siswa, kemampuan menjelaskan hubungan antara persamaan fungsi kuadrat dan grafik parabola, serta kemampuan siswa dalam menggunakan informasi visual dan simbolik untuk menyelesaikan masalah.

Tabel 3. Distribusi Level Kemampuan Berpikir Geometri Siswa

No.	Level Van Hiele	Kategori Kemampuan	Jumlah Siswa	Persentase
1	Level 0	Visualisasi	5 siswa	16,67%
2	Level 1	Analisis	14 siswa	46,67%
3	Level 2	Abstraksi	3 siswa	10,00%
4	Level 3	Deduksi	8 siswa	26,66%
5	Level 4	Rigor	0 siswa	0,00%

Jumlah	30 siswa	100%
---------------	-----------------	-------------

Berdasarkan Tabel 3, sebagian besar siswa berada pada Level 1 atau tahap analisis, yaitu sebanyak 14 siswa atau 46,67%. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas siswa telah mampu mengenali dan menganalisis sifat dasar grafik fungsi kuadrat, tetapi belum sepenuhnya mampu menjelaskan hubungan antar-sifat secara sistematis. Siswa yang berada pada Level 0 berjumlah 5 siswa atau 16,67%, yang menunjukkan bahwa sebagian siswa masih memahami grafik fungsi kuadrat berdasarkan tampilan visual semata. Siswa pada Level 2 berjumlah 3 siswa atau 10,00%, yang menunjukkan bahwa hanya sebagian kecil siswa telah mampu memahami hubungan antar-sifat grafik secara konseptual. Siswa pada Level 3

berjumlah 8 siswa atau 26,66%, yang menunjukkan bahwa terdapat siswa yang telah mampu menggunakan penalaran logis dalam menghubungkan representasi simbolik dan grafik fungsi kuadrat. Tidak terdapat siswa pada Level 4, sehingga belum ada siswa yang mencapai tahap rigor dalam konteks materi fungsi kuadrat.

Karakteristik Kemampuan Siswa pada Setiap Level Van Hiele

Hasil tes menunjukkan perbedaan karakteristik kemampuan siswa pada setiap level. Perbedaan tersebut terlihat dari cara siswa mengenali grafik, menafsirkan bentuk simbolik, serta menjelaskan hubungan antara persamaan fungsi kuadrat dan grafik parabola.

Tabel 5. Karakteristik Kemampuan Berpikir Geometri Berdasarkan Hasil Tes

Level	Kategori	Karakteristik Kemampuan Siswa	Bentuk Koordinasi Representasi
Level 0	Visualisasi	Siswa mengenali grafik berdasarkan bentuk umum parabola, seperti melengkung ke atas atau ke bawah	Koordinasi masih berbasis pengamatan visual
Level 1	Analisis	Siswa mampu mengidentifikasi sifat grafik, seperti arah buka parabola, titik potong, dan posisi grafik terhadap sumbu koordinat	Koordinasi mulai muncul, tetapi masih parsial
Level 2	Abstraksi	Siswa mulai memahami hubungan koefisien dengan bentuk grafik dan dapat membuat generalisasi sederhana	Koordinasi simbolik-grafik mulai konseptual
Level 3	Deduksi	Siswa mampu menjelaskan hubungan persamaan dan grafik menggunakan	Koordinasi sudah logis dan sistematis

		konsep diskriminan, koefisien, titik puncak, dan sumbu simetri	
Level 4	Rigor	Tidak ditemukan siswa pada level ini	Tidak teridentifikasi dalam penelitian

Berdasarkan Tabel 5, siswa pada Level 0 cenderung memahami grafik fungsi kuadrat sebagai gambar visual tanpa mengaitkannya dengan simbol atau persamaan. Pada Level 1, siswa mulai mengenali sifat-sifat grafik, tetapi belum mampu menjelaskan hubungan antar-sifat secara mendalam. Pada Level 2, siswa mulai memahami keterkaitan antara koefisien dan bentuk grafik. Pada Level 3, siswa telah mampu menggunakan konsep matematika untuk menjelaskan hubungan antara persamaan dan grafik secara lebih lengkap.

Hasil Wawancara Subjek Level 0 atau Visualisasi

Subjek yang mewakili Level 0 adalah FI. Hasil wawancara menunjukkan bahwa subjek belum pernah menggunakan GeoGebra dalam pembelajaran sebelumnya.

Ketika diminta menjelaskan jawaban pada soal, subjek mampu mengelompokkan grafik berdasarkan bentuk parabola yang tampak. Subjek menyebut bahwa beberapa grafik memiliki parabola terbuka ke atas, beberapa terbuka ke bawah, dan salah satu grafik tidak melewati sumbu x .

Kemampuan subjek FI menunjukkan bahwa pemahaman masih didominasi oleh pengamatan visual. Subjek mampu mengenali bentuk umum grafik, tetapi belum mampu menyelesaikan soal lanjutan yang membutuhkan hubungan antara simbol dan grafik. Ketika diminta menyelesaikan soal nomor 2 sampai nomor 4, subjek menyatakan tidak mengerti. Hal ini menunjukkan bahwa koordinasi antara representasi simbolik dan grafik belum berkembang secara optimal.

Tabel 6. Ringkasan Hasil Wawancara Subjek Level 0

Aspek yang Diamati	Temuan pada Subjek FI
Pengalaman menggunakan GeoGebra	Belum pernah menggunakan GeoGebra
Cara mengenali grafik	Mengamati bentuk parabola secara visual

Kemampuan membaca grafik	Mampu membedakan parabola terbuka ke atas dan ke bawah
Kemampuan menghubungkan simbol dan grafik	Belum mampu menjelaskan hubungan persamaan dengan grafik
Kesulitan utama	Tidak mampu menyelesaikan soal lanjutan yang membutuhkan analisis simbolik
Level berpikir geometri	Level 0 atau visualisasi

Hasil Wawancara Subjek Level 1 atau Analisis

Subjek yang mewakili Level 1 adalah DS. Berdasarkan hasil wawancara, subjek DS juga belum pernah menggunakan GeoGebra dalam pembelajaran sebelumnya. Subjek mampu mengelompokkan grafik berdasarkan arah buka parabola dan posisi grafik terhadap sumbu x . Subjek menyatakan bahwa grafik tertentu berbeda karena tidak melewati sumbu x , sedangkan grafik

lainnya menyentuh atau memotong sumbu x .

Kemampuan DS menunjukkan bahwa siswa telah mulai mengidentifikasi sifat grafik fungsi kuadrat. Siswa tidak hanya melihat bentuk parabola secara umum, tetapi juga memperhatikan karakteristik tertentu, seperti posisi terhadap sumbu x . Meskipun demikian, penjelasan yang diberikan masih terbatas pada pengamatan visual dan belum menunjukkan hubungan matematis yang sistematis antara persamaan dan grafik.

Tabel 7. Ringkasan Hasil Wawancara Subjek Level 1

Aspek yang Diamati	Temuan pada Subjek DS
Pengalaman menggunakan GeoGebra	Belum pernah menggunakan GeoGebra
Cara mengenali grafik	Mengamati arah buka dan posisi grafik terhadap sumbu (x)
Kemampuan membaca grafik	Mampu membedakan grafik yang memotong atau tidak memotong sumbu (x)
Kemampuan menghubungkan simbol dan grafik	Mulai menghubungkan bentuk simbolik dan grafik, tetapi masih sederhana
Kesulitan utama	Belum mampu menjelaskan hubungan matematis secara sistematis

Level berpikir geometri	Level 1 atau analisis
Hasil wawancara menunjukkan bahwa subjek DS berada pada tahap analisis karena telah mampu mengidentifikasi beberapa sifat grafik. Namun, koordinasi antara representasi simbolik dan grafik masih bersifat sederhana. Siswa belum dapat menjelaskan secara mendalam bagaimana koefisien dalam persamaan fungsi kuadrat memengaruhi bentuk dan posisi grafik. Hasil Wawancara Subjek Level 2 atau Abstraksi Subjek yang mewakili Level 2 adalah CN. Hasil wawancara menunjukkan bahwa subjek mampu mengelompokkan grafik berdasarkan arah buka parabola dan posisi grafik terhadap sumbu x. Subjek juga mulai	mengaitkan bentuk simbolik dengan grafik. Subjek menyatakan bahwa fungsi dengan nilai koefisien x^2 positif menghasilkan parabola yang terbuka ke atas, sedangkan fungsi dengan nilai koefisien x^2 negatif menghasilkan parabola yang terbuka ke bawah. Kemampuan tersebut menunjukkan bahwa subjek CN telah mulai memahami hubungan antara simbol dan grafik secara konseptual. Subjek tidak hanya mengamati bentuk visual grafik, tetapi juga memperhatikan tanda koefisien pada persamaan fungsi kuadrat. Meskipun penjelasan belum sepenuhnya formal, subjek telah mampu membuat generalisasi sederhana mengenai hubungan antara koefisien dan arah buka parabola.
Tabel 8. Ringkasan Hasil Wawancara Subjek Level 2	
Aspek yang Diamati	Temuan pada Subjek CN
Pengalaman menggunakan GeoGebra	Belum pernah menggunakan GeoGebra
Cara mengenali grafik	Mengamati grafik dan memperhatikan bentuk simbolik fungsi
Kemampuan membaca grafik	Mampu membedakan grafik berdasarkan arah buka dan titik potong
Kemampuan menghubungkan simbol dan grafik	Mampu menghubungkan tanda koefisien (x^2) dengan arah buka parabola
Kesulitan utama	Penjelasan belum sepenuhnya formal dan sistematis

Level berpikir geometri	Level 2 atau abstraksi
-------------------------	------------------------

Hasil wawancara pada subjek CN menunjukkan bahwa koordinasi representasi simbolik dan grafik sudah berkembang. Subjek mulai mampu menggunakan informasi simbolik untuk menjelaskan karakteristik grafik. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan kemampuan dari sekadar mengenali sifat grafik menuju pemahaman hubungan antar-sifat.

Hasil Wawancara Subjek Level 3 atau Deduksi

Subjek yang mewakili Level 3 adalah NAA. Hasil wawancara menunjukkan bahwa subjek mampu mengoordinasikan representasi simbolik dan grafik secara lebih lengkap. Subjek mampu menjelaskan bahwa koefisien x^2 positif

menyebabkan parabola terbuka ke atas, sedangkan koefisien x^2 negatif menyebabkan parabola terbuka ke bawah. Subjek juga mampu menggunakan konsep diskriminan untuk menjelaskan kedudukan grafik terhadap sumbu x .

Subjek NAA menjelaskan bahwa jika diskriminan lebih dari nol, maka grafik memotong sumbu x di dua titik berbeda. Jika diskriminan sama dengan nol, maka grafik menyinggung sumbu x di satu titik. Jika diskriminan kurang dari nol, maka grafik tidak memotong sumbu x . Penjelasan ini menunjukkan bahwa subjek telah menggunakan konsep matematis secara logis untuk menjelaskan hubungan antara persamaan fungsi kuadrat dan grafik parabola.

Tabel 9. Ringkasan Hasil Wawancara Subjek Level 3

Aspek yang Diamati	Temuan pada Subjek NAA
Pengalaman menggunakan GeoGebra	Belum pernah menggunakan GeoGebra
Cara mengenali grafik	Mengamati grafik dan menganalisis unsur simbolik pada persamaan
Kemampuan membaca grafik	Mampu menentukan arah buka, titik puncak, dan kedudukan grafik terhadap sumbu (x)
Kemampuan menghubungkan simbol dan grafik	Mampu menghubungkan koefisien dan diskriminan dengan karakteristik grafik

Kesulitan utama	Tidak tampak kesulitan mendasar pada soal yang diberikan
Level berpikir geometri	Level 3 atau deduksi

Hasil wawancara pada subjek NAA menunjukkan bahwa siswa telah mampu mengoordinasikan representasi simbolik dan grafik secara logis. Siswa tidak hanya mengenali tampilan grafik, tetapi juga menggunakan aturan matematika untuk menjelaskan mengapa grafik memiliki karakteristik tertentu. Kemampuan ini menunjukkan bahwa subjek telah mencapai tahap deduksi dalam konteks koordinasi representasi fungsi kuadrat.

Perbandingan Hasil Wawancara Setiap Level

Hasil wawancara menunjukkan adanya perbedaan kemampuan berpikir geometri pada setiap level. Perbedaan tersebut terlihat dari cara siswa mengenali grafik, menafsirkan simbol, dan menjelaskan hubungan antara persamaan fungsi kuadrat dengan grafik parabola.

Tabel 10. Perbandingan Kemampuan Subjek pada Setiap Level

Level	Subjek	Fokus Pemahaman	Bentuk Representasi	Koordinasi	Karakteristik Jawaban
Level 0	FI	Bentuk visual parabola	Mengelompokkan grafik berdasarkan tampilan		Jawaban intuitif dan berbasis pengamatan
Level 1	DS	Sifat dasar grafik	Menghubungkan grafik dengan sifat sederhana		Jawaban mulai analitis, tetapi belum sistematis
Level 2	CN	Hubungan koefisien dan grafik	Mengaitkan tanda koefisien dengan arah buka parabola		Jawaban mulai konseptual
Level 3	NAA	Hubungan simbolik, grafik, dan aturan matematika	Menggunakan koefisien dan diskriminan untuk menjelaskan grafik		Jawaban logis, sistematis, dan deduktif

Berdasarkan Tabel 10, semakin tinggi level berpikir geometri

siswa, semakin baik pula kemampuan siswa dalam mengoordinasikan

representasi simbolik dan grafik. Subjek Level 0 hanya mampu mengenali bentuk grafik secara visual. Subjek Level 1 mulai mampu mengenali sifat-sifat grafik. Subjek Level 2 mulai memahami hubungan antara simbol dan grafik. Subjek Level 3 mampu menjelaskan hubungan tersebut dengan menggunakan konsep matematika secara logis.

C. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan berpikir geometri siswa dalam mengoordinasikan representasi simbolik dan grafik fungsi kuadrat berada pada level yang bervariasi. Variasi tersebut terlihat dari sebaran 30 siswa kelas X Fase E1 SMA Negeri 8 Muaro Jambi, yaitu 5 siswa berada pada Level 0 atau visualisasi, 14 siswa berada pada Level 1 atau analisis, 3 siswa berada pada Level 2 atau abstraksi, dan 8 siswa berada pada Level 3 atau deduksi. Temuan ini menunjukkan bahwa sebagian besar siswa masih berada pada tahap analisis, sehingga kemampuan mereka dalam memahami fungsi kuadrat telah berkembang dari sekadar mengenali bentuk grafik, tetapi belum sepenuhnya mencapai pemahaman

relasional dan deduktif. Kondisi tersebut sejalan dengan teori Van Hiele yang menjelaskan bahwa perkembangan berpikir geometri berlangsung secara bertahap, mulai dari pengenalan bentuk visual hingga kemampuan menggunakan penalaran formal dalam memahami hubungan antarobjek matematika (Anwar, 2020). Dengan demikian, kemampuan siswa dalam mengoordinasikan representasi simbolik dan grafik tidak muncul secara langsung, tetapi berkembang melalui proses pengenalan, analisis sifat, pembentukan hubungan, dan penalaran matematis yang lebih sistematis.

Kemampuan Berpikir Geometri Siswa pada Level 0 atau Visualisasi

Siswa yang berada pada Level 0 menunjukkan kemampuan berpikir geometri yang masih terbatas pada pengamatan bentuk visual grafik fungsi kuadrat. Pada level ini, siswa mampu mengenali grafik parabola berdasarkan bentuk umum yang tampak, seperti parabola yang terbuka ke atas, parabola yang terbuka ke bawah, atau grafik yang tidak memotong sumbu x . Namun, pengenalan tersebut belum disertai

dengan pemahaman terhadap sifat matematis yang mendasari bentuk grafik. Siswa belum mampu menjelaskan mengapa suatu grafik terbuka ke atas atau ke bawah berdasarkan tanda koefisien a pada persamaan $f(x) = ax^2 + bx + c$. Kondisi ini menunjukkan bahwa siswa masih memahami grafik sebagai objek visual, bukan sebagai representasi dari struktur simbolik fungsi kuadrat.

Temuan pada Level 0 tampak pada subjek FI yang mampu mengelompokkan grafik berdasarkan kemiripan bentuk parabola, tetapi tidak mampu menyelesaikan soal lanjutan yang memerlukan hubungan antara persamaan dan grafik. Subjek hanya melihat grafik sebagai gambar yang “melengkung ke atas” atau “melengkung ke bawah” tanpa menghubungkannya dengan nilai koefisien pada bentuk simbolik fungsi kuadrat. Hal ini menunjukkan bahwa koordinasi representasi simbolik dan grafik belum berkembang secara optimal. Menurut Duval (2006), pemahaman matematika tidak cukup hanya dengan mengenali satu bentuk representasi, tetapi memerlukan kemampuan untuk melakukan konversi antarrepresentasi. Dalam konteks ini, siswa Level 0 belum

mampu melakukan konversi dari representasi grafik ke representasi simbolik maupun sebaliknya secara bermakna.

Karakteristik siswa pada Level 0 juga menunjukkan bahwa visualisasi belum menjadi sarana untuk membangun konsep, tetapi masih sebatas pengenalan bentuk. Hal ini sejalan dengan pendapat Anwar (2020) bahwa siswa pada tahap visualisasi mengenali objek geometri berdasarkan tampilan keseluruhan, bukan berdasarkan sifat atau hubungan antarunsur. Dalam materi fungsi kuadrat, siswa Level 0 dapat mengenali grafik parabola, tetapi belum memahami bahwa arah buka parabola ditentukan oleh tanda koefisien a , titik puncak berkaitan dengan sumbu simetri, dan posisi grafik terhadap sumbu x berkaitan dengan nilai diskriminan. Akibatnya, pemahaman siswa masih bersifat intuitif dan belum konseptual.

Kondisi ini menunjukkan bahwa siswa pada Level 0 memerlukan pembelajaran yang lebih banyak menekankan eksplorasi visual yang terarah. GeoGebra dapat digunakan untuk membantu siswa melihat hubungan langsung antara perubahan nilai koefisien dan perubahan bentuk

grafik. Namun, penggunaan GeoGebra tidak cukup hanya menampilkan grafik, melainkan harus disertai pertanyaan pengarah agar siswa dapat menghubungkan apa yang dilihat dengan makna simboliknya. Hal ini sesuai dengan Aprilian (2024) yang menyatakan bahwa GeoGebra efektif digunakan dalam pembelajaran matematika apabila diarahkan untuk membantu siswa memahami konsep, bukan hanya sebagai alat menggambar grafik. Dengan demikian, siswa Level 0 perlu diarahkan dari pengamatan visual menuju analisis sifat grafik secara bertahap.

Kemampuan Berpikir Geometri Siswa pada Level 1 atau Analisis

Sebagian besar siswa dalam penelitian ini berada pada Level 1 atau tahap analisis, yaitu sebanyak 14 siswa atau 46,67%. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas siswa telah mampu mengidentifikasi beberapa sifat grafik fungsi kuadrat, tetapi belum sepenuhnya mampu menjelaskan hubungan antar-sifat tersebut secara sistematis. Pada level ini, siswa dapat mengenali arah buka parabola, titik potong grafik terhadap sumbu koordinat, titik puncak, dan

posisi grafik terhadap sumbu x . Namun, pemahaman tersebut masih bersifat parsial karena siswa belum mampu mengaitkan seluruh sifat grafik dengan struktur simbolik fungsi kuadrat secara lengkap.

Temuan ini tampak pada subjek DS yang mampu membedakan grafik berdasarkan arah buka parabola dan kedudukannya terhadap sumbu x . Subjek dapat menjelaskan bahwa grafik tertentu berbeda karena tidak melewati sumbu x , sedangkan grafik lainnya menyentuh atau memotong sumbu x . Kemampuan tersebut menunjukkan bahwa siswa telah mulai memperhatikan sifat-sifat grafik, bukan hanya bentuk umumnya. Namun, ketika diminta menjelaskan alasan matematis dari perbedaan grafik tersebut, siswa belum mampu menghubungkannya dengan konsep diskriminan atau koefisien pada persamaan fungsi kuadrat. Dengan demikian, koordinasi antara representasi simbolik dan grafik sudah mulai muncul, tetapi masih terbatas pada pengamatan sifat secara terpisah.

Kondisi siswa pada Level 1 sesuai dengan teori Van Hiele bahwa siswa pada tahap analisis telah mampu mengenali sifat suatu objek,

tetapi belum mampu memahami hubungan logis antar-sifat secara formal (Anwar, 2020). Dalam konteks fungsi kuadrat, siswa telah mengetahui bahwa grafik dapat terbuka ke atas atau ke bawah, memiliki titik potong, dan memiliki titik puncak. Namun, siswa belum sepenuhnya memahami bahwa sifat-sifat tersebut saling berhubungan dan dapat dijelaskan melalui persamaan fungsi kuadrat. Misalnya, siswa belum memahami secara utuh bahwa nilai a menentukan arah buka parabola, nilai b berpengaruh terhadap posisi sumbu simetri, nilai c berkaitan dengan titik potong pada sumbu y , dan nilai diskriminan menentukan banyaknya titik potong terhadap sumbu x .

Mayoritas siswa yang berada pada Level 1 menunjukkan bahwa pembelajaran fungsi kuadrat selama ini kemungkinan telah membantu siswa mengenali unsur-unsur grafik, tetapi belum cukup kuat dalam membangun hubungan antarrepresentasi. Hal ini sejalan dengan Marlinda dan Effendi (2024) yang menjelaskan bahwa siswa sering mengalami hambatan epistemologis dalam menyelesaikan soal persamaan kuadrat karena pemahaman konsep, prosedur, dan

teknik operasional belum terintegrasi dengan baik. Dalam penelitian ini, hambatan tersebut terlihat dari kemampuan siswa yang dapat membaca grafik, tetapi belum mampu menjelaskan keterkaitan grafik dengan bentuk simboliknya secara konseptual. Dengan kata lain, siswa mengetahui “apa” yang tampak pada grafik, tetapi belum sepenuhnya memahami “mengapa” grafik tersebut memiliki bentuk tertentu.

Pada tahap ini, GeoGebra dapat berperan sebagai media yang membantu siswa naik dari level analisis menuju level abstraksi. Melalui fitur dinamis GeoGebra, siswa dapat mengubah nilai koefisien a , b , dan c , kemudian mengamati perubahan grafik secara langsung. Kegiatan ini dapat membantu siswa menemukan pola hubungan antara simbol dan grafik. Seto et al. (2025) menyatakan bahwa implementasi GeoGebra dapat meningkatkan pemahaman konsep fungsi kuadrat karena siswa dapat melihat hubungan antara bentuk persamaan dan perubahan grafik secara visual. Oleh sebab itu, siswa pada Level 1 perlu diberi aktivitas eksploratif yang menuntut mereka membandingkan beberapa bentuk persamaan dan

grafik, kemudian menyimpulkan hubungan antarunsurnya.

Kemampuan Berpikir Geometri Siswa pada Level 2 atau Abstraksi

Siswa yang berada pada Level 2 berjumlah 3 siswa atau 10,00%. Jumlah ini menunjukkan bahwa hanya sebagian kecil siswa yang telah mampu membangun hubungan antar-sifat grafik fungsi kuadrat secara konseptual. Pada Level 2, siswa tidak lagi hanya mengenali sifat grafik secara terpisah, tetapi mulai memahami hubungan antara bentuk simbolik persamaan dan karakteristik grafik. Siswa mulai dapat menjelaskan bahwa tanda koefisien a menentukan arah buka parabola, serta mulai memahami bahwa perubahan pada persamaan fungsi kuadrat berdampak pada perubahan bentuk grafik.

Temuan pada Level 2 tampak pada subjek CN yang mampu menjelaskan bahwa fungsi dengan koefisien x^2 positif menghasilkan parabola terbuka ke atas, sedangkan fungsi dengan koefisien x^2 negatif menghasilkan parabola terbuka ke bawah. Penjelasan ini menunjukkan bahwa siswa telah mulai menghubungkan representasi simbolik dengan representasi grafik

secara lebih bermakna. Siswa tidak hanya mengamati bahwa grafik berbeda, tetapi juga mulai memberikan alasan berdasarkan unsur simbolik yang terdapat pada persamaan. Meskipun demikian, penjelasan siswa belum sepenuhnya formal dan sistematis karena masih terbatas pada hubungan tanda koefisien dengan arah buka parabola.

Kemampuan siswa pada Level 2 menunjukkan adanya proses abstraksi awal dalam memahami fungsi kuadrat. Siswa mulai membangun generalisasi sederhana, misalnya “jika koefisien x^2 positif, maka parabola terbuka ke atas” dan “jika koefisien x^2 negatif, maka parabola terbuka ke bawah”. Generalisasi ini merupakan bentuk awal dari pemahaman relasional karena siswa telah menghubungkan sifat simbolik dengan sifat grafik. Hal ini sejalan dengan Sützen dan Ünver (2025) yang menjelaskan bahwa pada level deduksi informal atau abstraksi, siswa mulai memahami hubungan antar-sifat dan menggunakan penalaran relasional. Dalam konteks penelitian ini, hubungan antar-sifat tersebut terlihat pada kemampuan siswa mengaitkan koefisien fungsi

kuadrat dengan arah buka grafik parabola.

Namun, jumlah siswa pada Level 2 yang relatif sedikit menunjukkan bahwa kemampuan abstraksi dalam materi fungsi kuadrat belum berkembang secara merata. Sebagian besar siswa belum sampai pada tahap membuat generalisasi hubungan antara simbol dan grafik. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pembelajaran perlu memperkuat aktivitas yang mendorong siswa melakukan eksplorasi, membandingkan beberapa bentuk fungsi kuadrat, dan menyimpulkan pola hubungan secara mandiri. Nuratifah et al. (2024) menjelaskan bahwa GeoGebra berperan dalam meningkatkan kemampuan representasi visual matematis karena siswa dapat melihat hubungan antara perubahan persamaan dan perubahan grafik secara langsung. Dengan demikian, GeoGebra dapat menjadi sarana penting untuk membantu siswa mengembangkan pemahaman abstrak terhadap fungsi kuadrat.

Siswa pada Level 2 juga menunjukkan bahwa koordinasi representasi mulai berkembang dari pengamatan visual menuju

pemahaman konseptual. Akan tetapi, pemahaman tersebut masih perlu diperkuat agar siswa mampu menjelaskan hubungan yang lebih kompleks, seperti hubungan diskriminan dengan titik potong grafik terhadap sumbu x , hubungan sumbu simetri dengan koefisien a dan b , serta hubungan bentuk puncak dengan posisi titik puncak parabola. Jika siswa hanya memahami hubungan koefisien a dengan arah buka parabola, maka kemampuan koordinasi representasinya belum dapat dikatakan lengkap. Oleh karena itu, pembelajaran perlu dirancang agar siswa dapat menghubungkan seluruh unsur utama fungsi kuadrat secara sistematis.

Kemampuan Berpikir Geometri Siswa pada Level 3 atau Deduksi

Siswa yang berada pada Level 3 berjumlah 8 siswa atau 26,66%. Siswa pada level ini menunjukkan kemampuan yang lebih tinggi dibandingkan level lainnya karena telah mampu menggunakan konsep matematika untuk menjelaskan hubungan antara representasi simbolik dan grafik secara logis. Pada Level 3, siswa tidak hanya mengenali sifat grafik dan memahami hubungan

antar-sifat, tetapi juga mampu memberikan alasan matematis berdasarkan aturan atau konsep yang relevan. Dalam penelitian ini, kemampuan tersebut terlihat dari penggunaan konsep koefisien dan diskriminan untuk menjelaskan karakteristik grafik fungsi kuadrat.

Temuan pada Level 3 tampak pada subjek NAA yang mampu menjelaskan bahwa koefisien x^2 positif menyebabkan parabola terbuka ke atas, sedangkan koefisien x^2 negatif menyebabkan parabola terbuka ke bawah. Subjek juga mampu menjelaskan bahwa diskriminan menentukan kedudukan grafik terhadap sumbu x . Jika diskriminan lebih dari nol, grafik memotong sumbu x di dua titik; jika diskriminan sama dengan nol, grafik menyinggung sumbu x ; dan jika diskriminan kurang dari nol, grafik tidak memotong sumbu x . Penjelasan ini menunjukkan bahwa siswa telah mampu menghubungkan representasi simbolik dengan representasi grafik menggunakan konsep matematika yang tepat.

Kemampuan siswa pada Level 3 menunjukkan bahwa koordinasi representasi simbolik dan grafik telah berlangsung secara sistematis. Siswa mampu menafsirkan simbol dalam

persamaan fungsi kuadrat, kemudian menghubungkannya dengan ciri-ciri grafik parabola. Hal ini sejalan dengan Duval (2006) yang menekankan bahwa pemahaman matematika yang mendalam memerlukan kemampuan melakukan konversi antarregister representasi. Dalam konteks ini, siswa Level 3 telah mampu melakukan konversi dari bentuk simbolik menuju bentuk grafik dan menjelaskan hubungan keduanya. Kemampuan tersebut menunjukkan bahwa siswa tidak hanya memahami prosedur, tetapi juga memahami makna konseptual di balik prosedur tersebut.

Temuan ini juga sejalan dengan Hidayati et al. (2025) yang menyatakan bahwa pembelajaran geometri berbantuan GeoGebra dapat mendukung kemampuan berpikir siswa dalam memahami hubungan visual dan simbolik. Meskipun semua subjek wawancara menyatakan belum pernah menggunakan GeoGebra sebelumnya, penggunaan GeoGebra dalam penelitian ini tetap membantu siswa mengamati hubungan antara persamaan dan grafik. Pada siswa Level 3, GeoGebra berfungsi sebagai alat konfirmasi visual terhadap penalaran simbolik yang telah mereka miliki. Artinya, siswa tidak hanya

bergantung pada tampilan GeoGebra, tetapi menggunakan visualisasi tersebut untuk memperkuat penjelasan matematis.

Siswa pada Level 3 menunjukkan bahwa pemahaman fungsi kuadrat telah melibatkan hubungan antara aljabar dan geometri. Mereka dapat membaca grafik sebagai objek visual sekaligus memahami bahwa grafik tersebut merupakan hasil dari struktur simbolik persamaan. Hal ini mendukung pendapat Hutajulu et al. (2022) bahwa proses konseptualisasi dalam masalah geometri-fungsi memerlukan kemampuan untuk menghubungkan informasi simbolik dan visual secara terpadu. Dengan demikian, siswa yang berada pada Level 3 telah menunjukkan kemampuan berpikir geometri yang lebih matang dalam konteks fungsi kuadrat.

Tidak Ditemukannya Siswa pada Level 4 atau Rigor

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada siswa yang mencapai Level 4 atau rigor. Kondisi ini dapat dipahami karena Level 4 merupakan tahap berpikir geometri yang menuntut kemampuan memahami sistem aksiomatik, struktur formal, dan

hubungan deduktif dalam kerangka matematika yang lebih abstrak. Pada jenjang SMA, khususnya dalam konteks materi fungsi kuadrat, kemampuan siswa umumnya masih berada pada tahap visualisasi hingga deduksi. Tidak ditemukannya siswa pada Level 4 menunjukkan bahwa siswa belum sampai pada kemampuan membandingkan sistem matematika secara formal atau menganalisis struktur deduktif secara mendalam.

Ketiadaan siswa pada Level 4 tidak dapat langsung dimaknai sebagai kelemahan pembelajaran, tetapi menunjukkan bahwa level tersebut memang menuntut kemampuan berpikir yang lebih tinggi. Dalam konteks fungsi kuadrat, siswa pada Level 3 sudah dapat dikatakan memiliki kemampuan yang baik karena mampu menggunakan konsep koefisien, diskriminan, titik puncak, dan sumbu simetri untuk menjelaskan grafik. Level 4 biasanya lebih relevan untuk kajian geometri formal atau matematika tingkat lanjut yang melibatkan pembuktian aksiomatik. Hal ini sejalan dengan teori Van Hiele yang menyatakan bahwa level berpikir geometri berkembang secara bertahap dan tidak semua siswa pada

jenjang sekolah menengah mencapai level tertinggi (Anwar, 2020).

Temuan ini menguatkan bahwa tujuan pembelajaran fungsi kuadrat di SMA lebih realistis diarahkan pada pencapaian level analisis, abstraksi, dan deduksi. Guru perlu mendorong siswa yang masih berada pada Level 0 dan Level 1 agar dapat naik menuju Level 2 melalui aktivitas eksplorasi hubungan antar-sifat grafik. Sementara itu, siswa yang telah berada pada Level 2 perlu diarahkan untuk menyusun alasan matematis yang lebih sistematis agar dapat mencapai Level 3. Dengan demikian, pembelajaran fungsi kuadrat berbantuan GeoGebra dapat diarahkan untuk meningkatkan level berpikir geometri secara bertahap, bukan sekadar meningkatkan kemampuan menggambar grafik.

Koordinasi Representasi Simbolik dan Grafik dalam Pembelajaran Fungsi Kuadrat

Koordinasi representasi simbolik dan grafik merupakan inti dari pemahaman fungsi kuadrat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan level berpikir geometri berpengaruh terhadap kualitas koordinasi representasi siswa. Siswa

pada level rendah cenderung memahami grafik sebagai gambar, sedangkan siswa pada level lebih tinggi mampu memahami grafik sebagai representasi visual dari persamaan simbolik. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kemampuan representasi tidak hanya berkaitan dengan kemampuan menggambar atau membaca grafik, tetapi juga berkaitan dengan kemampuan menafsirkan hubungan antarrepresentasi.

Pada Level 0, koordinasi representasi belum terbentuk secara konseptual karena siswa hanya mengenali bentuk grafik. Pada Level 1, koordinasi mulai muncul melalui pengenalan sifat-sifat grafik, tetapi belum disertai pemahaman hubungan yang lengkap. Pada Level 2, koordinasi mulai berkembang karena siswa dapat menghubungkan tanda koefisien dengan arah buka grafik. Pada Level 3, koordinasi telah berlangsung secara lebih matang karena siswa mampu menjelaskan hubungan simbolik dan grafik menggunakan konsep matematika. Pola ini menunjukkan bahwa semakin tinggi level berpikir geometri siswa, semakin baik pula kemampuan

mereka dalam mengoordinasikan representasi simbolik dan grafik.

Temuan tersebut sejalan dengan Anwar et al. (2025) yang menyatakan bahwa representasi matematis memiliki peran penting dalam pembelajaran matematika karena membantu siswa memahami dan mengomunikasikan ide matematika secara lebih fleksibel. Dalam fungsi kuadrat, fleksibilitas representasi terlihat ketika siswa mampu berpindah dari persamaan ke grafik, dari grafik ke sifat parabola, dan dari sifat parabola ke kesimpulan matematis. Namun, fleksibilitas tersebut tidak dimiliki secara merata oleh semua siswa. Siswa yang belum memahami hubungan antarrepresentasi cenderung terjebak pada satu bentuk penyelesaian, misalnya hanya menggunakan rumus atau hanya melihat grafik tanpa memahami simbolnya.

Duval (2006) menegaskan bahwa kesulitan utama dalam pembelajaran matematika sering kali bukan terletak pada objek matematika itu sendiri, melainkan pada ketidakmampuan siswa mengoordinasikan berbagai representasi dari objek tersebut. Temuan penelitian ini mendukung

pandangan tersebut karena siswa yang berada pada Level 0 dan Level 1 sebenarnya dapat mengenali beberapa unsur grafik, tetapi belum mampu menghubungkannya dengan bentuk simbolik secara bermakna. Dengan demikian, pembelajaran fungsi kuadrat perlu dirancang agar siswa tidak hanya menyelesaikan soal secara prosedural, tetapi juga mengonversi dan mengoordinasikan berbagai representasi secara aktif.

Peran GeoGebra dalam Mendukung Pemahaman Siswa

GeoGebra berperan sebagai media bantu visualisasi yang mendukung siswa dalam memahami hubungan antara bentuk simbolik dan grafik fungsi kuadrat. Hasil wawancara menunjukkan bahwa subjek penelitian belum pernah menggunakan GeoGebra dalam pembelajaran sebelumnya. Meskipun demikian, penggunaan GeoGebra dalam penelitian ini membantu siswa mengamati bentuk grafik parabola secara lebih jelas. GeoGebra memungkinkan siswa melihat perubahan grafik ketika koefisien fungsi kuadrat diubah, sehingga hubungan antara persamaan dan grafik dapat diamati secara langsung.

Pada siswa Level 0, GeoGebra membantu mengenalkan bentuk grafik parabola secara visual. Pada siswa Level 1, GeoGebra membantu memperjelas sifat-sifat grafik seperti arah buka parabola, titik potong, dan posisi grafik terhadap sumbu koordinat. Pada siswa Level 2, GeoGebra membantu siswa menemukan hubungan antara koefisien dan bentuk grafik. Pada siswa Level 3, GeoGebra berfungsi sebagai alat untuk memverifikasi dan memperkuat penalaran matematis. Dengan demikian, GeoGebra memiliki fungsi yang berbeda sesuai dengan level berpikir geometri siswa.

Temuan ini mendukung hasil penelitian Zulnaldi et al. (2020) yang menunjukkan bahwa penggunaan GeoGebra berpengaruh positif terhadap prestasi belajar matematika siswa. GeoGebra membantu siswa memahami konsep matematika karena objek yang abstrak dapat divisualisasikan secara dinamis. Seto et al. (2025) juga menyatakan bahwa implementasi GeoGebra dapat meningkatkan pemahaman konsep fungsi kuadrat karena siswa dapat mengamati perubahan grafik secara langsung. Dalam penelitian ini, GeoGebra membantu siswa

menghubungkan bentuk simbolik $f(x) = ax^2 + bx + c$ dengan karakteristik grafik parabola.

Namun, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa GeoGebra tidak secara otomatis membuat semua siswa mampu memahami konsep secara mendalam. Siswa tetap memerlukan arahan, pertanyaan pemantik, dan aktivitas eksploratif yang terstruktur. Tanpa bimbingan yang tepat, siswa dapat hanya melihat perubahan grafik tanpa memahami alasan matematisnya. Oleh karena itu, GeoGebra perlu digunakan sebagai bagian dari desain pembelajaran yang menuntut siswa mengamati, membandingkan, menjelaskan, dan menyimpulkan hubungan antara simbol dan grafik. Hal ini sejalan dengan Moore (2021) yang menekankan pentingnya desain tugas yang tepat dalam mengintegrasikan teknologi agar siswa dapat mengembangkan pemikiran grafik secara bermakna.

Hubungan Temuan Penelitian dengan Teori Van Hiele

Hasil penelitian menunjukkan bahwa teori Van Hiele relevan digunakan untuk menganalisis kemampuan berpikir geometri siswa

pada materi fungsi kuadrat. Meskipun fungsi kuadrat sering dipandang sebagai materi aljabar, grafik parabola yang dihasilkan memiliki karakteristik geometri yang dapat dianalisis melalui level berpikir Van Hiele. Siswa tidak hanya dituntut memahami persamaan, tetapi juga memahami bentuk, posisi, arah, dan hubungan antarunsur grafik pada bidang koordinat.

Pada Level 0, siswa mengenali parabola berdasarkan bentuk visual. Pada Level 1, siswa mulai mengidentifikasi sifat-sifat parabola. Pada Level 2, siswa mulai memahami hubungan antara koefisien dan sifat grafik. Pada Level 3, siswa mampu menggunakan aturan matematika untuk menjelaskan hubungan antara persamaan dan grafik. Urutan ini menunjukkan kesesuaian dengan tahapan berpikir geometri Van Hiele. Dengan demikian, teori Van Hiele dapat digunakan tidak hanya pada bangun geometri klasik, tetapi juga pada konsep fungsi yang memiliki representasi grafik.

Temuan ini mendukung pendapat Hidayati et al. (2025) bahwa pembelajaran geometri berbasis GeoGebra dapat dikaitkan dengan kemampuan berpikir siswa dalam

memahami objek matematika secara visual dan konseptual. Fungsi kuadrat memiliki unsur visual yang kuat karena grafiknya berbentuk parabola. Oleh karena itu, kemampuan berpikir geometri diperlukan agar siswa dapat memahami hubungan antara simbol, grafik, dan sifat matematisnya. Hal ini menunjukkan bahwa batas antara aljabar dan geometri dalam pembelajaran fungsi kuadrat tidak dapat dipisahkan secara kaku.

Implikasi Temuan terhadap Pembelajaran Matematika

Hasil penelitian ini memberikan implikasi bahwa pembelajaran fungsi kuadrat perlu menekankan koordinasi representasi simbolik dan grafik secara eksplisit. Guru perlu merancang aktivitas yang tidak hanya meminta siswa menghitung akar persamaan atau menggambar grafik, tetapi juga meminta siswa menjelaskan hubungan antara persamaan dan grafik. Misalnya, siswa dapat diminta mengubah nilai koefisien a , b , dan c pada GeoGebra, mengamati perubahan grafik, kemudian menuliskan kesimpulan mengenai pengaruh setiap koefisien. Aktivitas seperti ini dapat membantu siswa membangun pemahaman dari

level visualisasi menuju level analisis dan abstraksi.

Guru juga perlu memperhatikan perbedaan level berpikir geometri siswa. Siswa pada Level 0 memerlukan bantuan visual dan pertanyaan sederhana untuk mengenali sifat grafik. Siswa pada Level 1 memerlukan aktivitas yang membantu mereka menghubungkan sifat-sifat grafik dengan persamaan. Siswa pada Level 2 perlu diberi tugas yang menuntut generalisasi hubungan antara simbol dan grafik. Siswa pada Level 3 dapat diberi tantangan untuk menjelaskan hubungan tersebut secara deduktif menggunakan konsep diskriminan, titik puncak, dan sumbu simetri. Dengan memperhatikan level berpikir siswa, pembelajaran dapat menjadi lebih terarah dan sesuai dengan kebutuhan siswa.

Selain itu, penggunaan GeoGebra perlu dipadukan dengan strategi pembelajaran yang mendorong siswa aktif menjelaskan hasil pengamatan. GeoGebra tidak boleh hanya digunakan sebagai alat demonstrasi guru, tetapi perlu digunakan sebagai alat eksplorasi siswa. Siswa perlu diberi kesempatan untuk mencoba, mengamati, membandingkan, dan menyimpulkan

sendiri hubungan antara persamaan dan grafik. Dengan demikian, GeoGebra dapat berfungsi sebagai media yang mendukung pembelajaran konseptual, bukan sekadar media visualisasi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan berpikir geometri siswa dalam mengoordinasikan representasi simbolik dan grafik fungsi kuadrat berkembang secara bertahap sesuai dengan level Van Hiele. Siswa pada Level 0 masih berfokus pada tampilan visual grafik. Siswa pada Level 1 mulai mengenali sifat-sifat grafik, tetapi belum memahami hubungan antar-sifat secara menyeluruh. Siswa pada Level 2 mulai membangun hubungan konseptual antara koefisien dan grafik. Siswa pada Level 3 telah mampu menggunakan konsep matematika untuk menjelaskan hubungan antara persamaan dan grafik secara logis.

Mayoritas siswa yang berada pada Level 1 menunjukkan bahwa pembelajaran fungsi kuadrat perlu lebih menekankan pemahaman relasional. Siswa tidak cukup hanya dilatih menggambar grafik atau menyelesaikan persamaan, tetapi perlu dibimbing untuk memahami

hubungan antara bentuk simbolik dan grafik. GeoGebra dapat menjadi media yang efektif untuk mendukung proses tersebut, terutama jika digunakan dalam aktivitas eksploratif yang terarah. Dengan demikian, kemampuan berpikir geometri dan koordinasi representasi perlu dikembangkan secara bersamaan agar siswa dapat memahami fungsi kuadrat secara lebih mendalam dan bermakna.

D. Kesimpulan

Kemampuan berpikir geometri siswa SMA dalam mengoordinasikan representasi simbolik dan grafik fungsi kuadrat berbantuan GeoGebra berada pada level yang beragam berdasarkan teori Van Hiele. Dari 30 siswa kelas X Fase E1 SMA Negeri 8 Muaro Jambi, terdapat 5 siswa pada Level 0 atau visualisasi, 14 siswa pada Level 1 atau analisis, 3 siswa pada Level 2 atau abstraksi, dan 8 siswa pada Level 3 atau deduksi. Sebagian besar siswa berada pada Level 1, sehingga kemampuan mereka telah mencakup pengenalan dan analisis sifat-sifat grafik fungsi kuadrat, tetapi belum sepenuhnya mampu menjelaskan hubungan antara bentuk simbolik dan grafik secara sistematis.

Siswa pada level rendah cenderung memahami grafik berdasarkan tampilan visual, sedangkan siswa pada level lebih tinggi mulai mampu menghubungkan koefisien, arah buka parabola, titik potong, dan diskriminan dengan karakteristik grafik fungsi kuadrat. GeoGebra membantu siswa memvisualisasikan hubungan antara persamaan dan grafik secara dinamis, tetapi penggunaannya tetap memerlukan arahan agar siswa mampu memahami makna matematis dari perubahan grafik. Dengan demikian, semakin tinggi level berpikir geometri siswa, semakin baik kemampuan mereka dalam mengoordinasikan representasi simbolik dan grafik fungsi kuadrat.

DAFTAR PUSTAKA

- 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>
- Anwar, R., Rahmawati, D., & Wulandari, A. (2025). Trends in research on mathematical representation in mathematics learning: A systematic literature

- review. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 13(3), 698–714. <https://doi.org/10.46328/ijemst.4848>
- Aprilian, V. M. (2024). Studi literatur: Penggunaan media pembelajaran GeoGebra terhadap kemampuan pemahaman konsep matematis siswa. *Jurnal Edukasi dan Sains Matematika (JES-MAT)*, 10(2), 89–100. <https://doi.org/10.25134/jes-mat.v10i2.10099>
- Azzahroh, F. F., Nikmah, A. R., & Kriswandani, K. (2023). The learning outcome improvement of quadratic function with NHT-type cooperative learning assisted by GeoGebra and Flipbook. *Edunesia: Jurnal Ilmiah Pendidikan*, 5(1), 332–345. <https://doi.org/10.51276/edu.v5i1.603>
- Bayty, S., Nizaruddin, N., & Muhtarom, M. (2025). Analisis representasi matematis siswa dalam menyelesaikan soal cerita bangun datar ditinjau dari gaya belajar. *Jurnal Pendidikan Matematika*, 7(5), 536–548. <https://doi.org/10.26877/imajiner.v7i5.21424>
- Castillo, D., Carrión, J., Chamba, C., Jiménez-Gaona, Y., Rodríguez-Álvarez, M. J., & Lakshminarayanan, V. (2025). Didactic strategies for conceptual understanding and motivation in university mathematics: A systematic review. *Frontiers in Education*, 10, 1536470. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1536470>
- Castillo, E. R., Marín León, J. A., Celiz, E. B., Alarcón, T. J. J., & Chunga More, Y. D. M. (2025). Technological tools used in mathematical thinking at the university level: A systematic review. *Journal of Educational and Social Research*, 15(2), 73. <https://doi.org/10.36941/jesr-2025-0043>
- Duval, R. (2006). A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 61(1–2), 103–131. <https://doi.org/10.1007/s10649-006-0400-z>
- Elbehary, S. G. A. (2023). The effectiveness of Van Hiele-based instruction supported by Geometer's Sketchpad in enhancing student teachers' geometry content knowledge and attitudes towards technology integration. *مجلة تربويات الرياضيات*, 7.2(26), 45–1). <https://doi.org/10.21608/armin.2023.335534>
- Elisya, N., Afgani Dahlan, J., & Yulianti, K. (2024). Epistemological obstacles of

- secondary school students in solving PISA-standard mathematical literacy problems related to functions. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 25(4), 1771–1786.
<https://doi.org/10.23960/jpmipa/v25i4.pp1771-1786>
- Fathurrahman, & Fitrah, M. (2023). Software GeoGebra pada pembelajaran matematika: Studi literatur. *Jurnal Ilmiah Matematika Realistik (JI-MR)*.
- Ferretti, F., Gambini, A., & Spagnolo, C. (2024). Management of semiotic representations in mathematics: Quantifications and new characterizations. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 12(1), 11–20.
<https://doi.org/10.30935/scimath/13827>
- Godino, J. D., Batanero, C., Burgos, M., & Wilhelmi, M. R. (2024). Understanding the onto-semiotic approach in mathematics education through the lens of the cultural historical activity theory. *ZDM – Mathematics Education*, 56(6), 1331–1344.
<https://doi.org/10.1007/s11858-024-01590-y>
- Hidayat, R. (2024). The role of GeoGebra software in conceptual understanding and engagement in quadratic functions and equations. *e-Journal Infinity*.
- Hidayati, Y. M., Sukowati, B. A., Hastuti, W., & Sukimin. (2025). Kemampuan berpikir komputasi pada pembelajaran geometri berbasis GeoGebra ditinjau dari gaya kognitif. *HISTOGRAM: Jurnal Pendidikan Matematika*, 9(1), 74–89.
<https://doi.org/10.31100/histogram.v9i1.4101>
- Hohenwarter, M., & Fuchs, K. (2016). 6 techniques of algebra. In *Foundations of Mathematics* (Vol. 2002, Issue July, pp. 169–206). De Gruyter.
<https://doi.org/10.1515/9781683922827-009>
- Hutajulu, M., Perbowo, K. S., Alghadari, F., Minarti, E. D., & Hidayat, W. (2022). The process of conceptualization in solving geometric-function problems. *Infinity Journal*, 11(1), 145–162.
<https://doi.org/10.22460/infinity.v11i1.p145-162>
- Ilhami, A. (2022). Implikasi teori perkembangan kognitif Piaget pada anak usia sekolah dasar dalam pembelajaran Bahasa Indonesia. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 7(2), 605–619.
<https://doi.org/10.23969/jp.v7i2.6564>
- Ledezma, C., Vargas, J. P., Hidalgo-Moncada, D., & Font, V. (2023). University teachers' didactic-mathematical knowledge for

- teaching the effect of coefficient b on the quadratic function. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(12), em2370.
<https://doi.org/10.29333/ejmste/13864>
- Marlinda, S., & Effendi, K. N. S. (2024). Epistemological obstacle siswa dalam menyelesaikan soal pada pokok bahasan persamaan kuadrat. *Radian Journal: Research and Review in Mathematics Education*, 2(4), 151–165.
<https://doi.org/10.35706/rjrrme.v2i4.12091>
- Moore, K. C. (2021). Graphical shape thinking and transfer. In *Springer International Publishing* (Issue 706, pp. 145–171).
https://doi.org/10.1007/978-3-030-65632-4_7
- Nuratifah, S., T, A. Y., Siregar, N., & Meldi, N. F. (2024). Peran aplikasi GeoGebra dalam kemampuan representasi visual matematis siswa pada materi fungsi. *J-PiMat: Jurnal Pendidikan Matematika*, 6(2), 1445–1456.
<https://doi.org/10.31932/j-pimat.v6i2.3902>
- Ogbonnaya, U. I., & Mushipe, M. (2020). The efficacy of GeoGebra-assisted instruction on students' drawing and interpretations of linear functions. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 19(9), 1–14.
<https://doi.org/10.26803/ijlter.19.9.1>
- Rahayu, F. D., Mawarsari, V. D., & Suprpto, R. (2023). Development of PBL e-modules on polyhedron constructions for geometrical thinking ability. *Kalamatika: Jurnal Pendidikan Matematika*, 8(1), 107–118.
<https://doi.org/10.22236/KALAMATIKA.vol8no1.2023pp107-118>
- Ramadhani, A. R., & Junaedi, I. (2025). Eighth grade students' geometric writing ability based on Van Hiele's theory in the GeoGebra-assisted PBL model. *EduGrows: Education and Learning Review*.
- Seto, S. B., Musdin, W., Se'a, E. E., Kue, C. T. Y., & Lue, B. O. (2025). Implementasi GeoGebra untuk meningkatkan pemahaman konsep fungsi kuadrat pada siswa SMA Negeri 1 Nangpanda. *De Fermat: Jurnal Pendidikan Matematika*, 8(1), 205–213.
<https://doi.org/10.36277/defermat.v8i1.2291>
- Sigalingging, A., & Siregar, N. (2025). Kajian literatur tentang konsep, sifat, dan aplikasi fungsi kuadrat dalam pembelajaran

- matematika menengah. *Harmoni Pendidikan: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 2(4), 178–184.
<https://doi.org/10.62383/hardik.v2i4.2406>
- Siregar, T. M., Saragih, A., Ginting, D., Simamora, D., Ginting, N., & Manik, R. (2024). Pengaruh media pembelajaran GeoGebra pada materi fungsi kuadrat terhadap hasil belajar siswa. *Jurnal Pendidikan Tambusai*.
- Sokolowski, A. (2018). The effects of using representations in elementary mathematics: Meta-analysis of research. *IAFOR Journal of Education*, 6(3), 129–152.
<https://doi.org/10.22492/ije.6.3.08>
- Süzen, C., & Ünver, S. K. (2025). The relationship between middle school students mathematical literacy, geometry achievement, and Van Hiele geometric thinking levels. *Journal of Pedagogical Sociology and Psychology*, 3, 1–229.
<https://doi.org/10.33902/JPSP.202537039>
- Wulandari, T. A., & Ishartono, N. (2022). Analisis kemampuan representasi matematika siswa SMA dalam menyelesaikan soal geometri berdasarkan level berpikir Van Hiele. *JNPM*.
- Zulnaldi, H., Oktavika, E., & Hidayat, R. (2020). Effect of use of GeoGebra on achievement of high school mathematics students. *Education and Information Technologies*, 25(1), 51–72.
<https://doi.org/10.1007/s10639-019-09899-y>