E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258

Halaman 3665-3689
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026

Pengembangan Media Pembelajaran Matematika Berbasis Web Terintegrasi GeoGebra guna Memfasilitasi Kemampuan Representasi Visual pada Materi Fungsi Kuadrat

Shofia Hidayah[1], Meiriana Andriani[2], Yunisa Robiatul Hilalia[3], Siti Aisyah[4], Naylatul Fauzia[5]

[1, 2, 3, 4] Universitas Nurul Jadid
[5] SMK Tahsinul Akhlaq

e-mail: shofiahidayah@unuja.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan serta menguji kevalidan, kepraktisan, serta keefektifan media pembelajaran berbasis web *Single Page Application* (SPA) terintegrasi GeoGebra dalam memfasilitasi kemampuan representasi visual matematik siswa SMK pada materi fungsi kuadrat. Permasalahan dilatarbelakangi oleh rendahnya kemampuan representasi visual siswa akibat pembelajaran yang abstrak serta kendala teknis *switch screen* pada penggunaan aplikasi GeoGebra secara terpisah. Model pengembangan yang digunakan adalah model 4D yang meliputi tahap *Define*, *Design*, *Develop*, dan *Disseminate*. Subjek uji coba dalam penelitian ini terdiri dari 20 siswa kelas XI TKJ SMK Tahsinul Akhlaq. Pengumpulan data dilakukan menggunakan lembar validasi ahli (media dan materi), angket respon siswa, serta instrumen tes (*pre-test* dan *post-test*). Data dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Hasil validasi oleh ahli media memperoleh skor

92,5% dan ahli materi sebesar 90,0%, di mana keduanya memenuhi kriteria sangat valid. Uji kepraktisan melalui angket respon siswa memperoleh nilai 83,0% yang termasuk dalam kategori sangat praktis. Sementara itu, uji keefektifan menunjukkan kenaikan rata-rata nilai siswa dari 50,0 (*pre-test*) menjadi 82,0 (*post-test*) dengan pencapaian nilai *Normalized Gain* (N-Gain) sebesar 0,70 yang berada pada kategori sedang/efektif. Dapat disimpulkan bahwa media pembelajaran berbasis web terintegrasi GeoGebra yang dikembangkan telah memenuhi kriteria valid, praktis, dan efektif. Media ini terbukti mampu membantu siswa memvisualisasikan grafik fungsi kuadrat secara interaktif tanpa terganggu kendala teknis berpindah jendela aplikasi.

Kata kunci: *Media Pembelajaran, Single Page Application (SPA), GeoGebra, Representasi Visual, Fungsi Kuadrat.*

Abstract

This study aimed to develop and evaluate the validity, practicality, and effectiveness of an integrated GeoGebra Single-Page Application (SPA) web-based learning media in facilitating vocational high school students' mathematical visual representation skills on quadratic functions. The problem was rooted in students' low visual representation ability due to abstract learning approaches and technical issues related to switching screens when using standalone GeoGebra applications. The development model adopted was the 4D model, which comprised the Define, Design, Develop, and Disseminate stages. The trial subjects consisted of 20 eleventh-grade TKJ students at SMK Tahsinul Akhlaq. Data were collected using expert validation sheets (media and material), student response questionnaires, and test instruments (pre-test and post-test). Data were analyzed using qualitative and quantitative methods. The validation results by the media expert achieved a score of 92.5%, while the material expert provided 90.0%, both meeting the criteria for highly valid. The

practicality test evaluated through the student response questionnaire obtained 83.0%, categorized as highly practical. Meanwhile, the effectiveness test revealed an increase in students' average test scores from 50.0 on the pre-test to 82.0 on the post-test, with a Normalized Gain (N-Gain) score of 0.70, categorized as moderate/effective. It can be concluded that the developed integrated GeoGebra web-based learning media satisfies the criteria of validity, practicality, and effectiveness. This media is proven to assist students in interactively visualizing quadratic function graphs without technical disruptions from switching application windows.

Keywords: *Learning Media, Single Page Application (SPA), GeoGebra, Visual Representation, Quadratic Functions.*

LATAR BELAKANG

Kemampuan representasi merupakan salah satu pilar utama dalam kompetensi matematis yang krusial untuk membantu siswa mengorganisasi, mencatat, dan mengomunikasikan ide-ide matematis (NCTM, 2000). Secara spesifik Lesh dkk (dalam Mainali, 2021) mengklasifikasikan representasi ke dalam bentuk visual/grafik, simbolik/aljabar, verbal, dan objek nyata, dimana kemampuan mentranslasikan antarbentuk representasi tersebut menjadi kunci pemahaman mendalam. Diantara ragam bentuk tersebut, representasi visual memegang peranan penting karena berfungsi sebagai jembatan kognitif yang memvisualisasikan objek matematis abstrak menjadi bentuk konkret (Husaini et al., 2024). Dalam konteks pembelajaran matematika, Arcavi (2003) menegaskan bahwa kemampuan representasi visual adalah kemampuan siswa membuat, menafsirkan, dan menggunakan gambar, diagram, atau grafik guna memahami serta mengomunikasikan ide-ide matematis. Sejalan dengan hal tersebut, Sari et al., (2019) mendefinisikan kemampuan representasi visual sebagai kemampuan siswa

untuk menyajikan ide, konsep, atau hubungan matematis ke dalam bentuk gambar, diagram, maupun grafik guna memperjelas penyelesaian masalah.

Dalam materi fungsi kuadrat dengan bentuk umum $f(x) = ax^2 + bx + c$ di mana $a \neq 0$, kemampuan representasi visual dinilai sangat penting karena perubahan angka pada rumus aljabar akan secara langsung mengubah bentuk, arah, dan posisi grafik parabola (Mundilarto, 2019). Sifat geometris kurva simetris ini ditentukan oleh komponen aljabarnya: koefisien a menentukan arah keterbukaan kurva, nilai c menentukan titik potong terhadap Sumbu-Y, dan nilai Diskriminan $(D = b^2 - 4ac)$ menentukan banyaknya titik potong kurva terhadap Sumbu-X. Kemampuan representasi visual pada materi fungsi kuadrat mencakup tiga indikator utama, yaitu: (1) kemampuan mengidentifikasi dan memvisualisasikan keterbukaan parabola berdasarkan nilai koefisien a; (2) kemampuan mengidentifikasi koordinat titik puncak (x_p, y_p) serta titik potong kurva terhadap Sumbu-X dan Sumbu-Y; dan (3) kemampuan memvisualisasikan hubungan antara nilai Diskriminan D dengan kedudukan grafik terhadap Sumbu-X.

Kondisi di lapangan menunjukkan bahwa kemampuan representasi visual siswa pada materi fungsi kuadrat masih tergolong rendah. Berdasarkan informasi dari Guru Matematika SMK Tahsinul Akhlaq, masih banyak siswa yang mengalami kesulitan saat menggambarkan grafik fungsi kuadrat. Hambatan ini sejalan dengan temuan Ngilamele et al., (2025); Sholekah et al., (2025); Suhendra et al., (2025) yang mengonfirmasi bahwa mayoritas peserta didik mengalami kesulitan ketika diminta memvisualisasikan grafik parabola. Menurut Kurniasari et al., (2021), kesulitan ini terjadi karena siswa cenderung menghafal rumus secara mekanis tanpa memahami makna geometris di balik komponen aljabar $a, b,$ dan c. Rendahnya kemampuan ini berakar dari minimnya alat peraga digital adaptif di sekolah, sehingga siswa terjebak pada hafalan rumus. Kondisi pembelajaran konvensional diperparah oleh keterbatasan alokasi waktu jam pelajaran yang sering habis hanya untuk menghitung titik koordinat secara manual di buku berpetak. Proses manual ini tidak hanya

memakan waktu tetapi juga cenderung tidak akurat, sehingga memicu miskonsepsi mengenai hubungan komponen aljabar dengan representasi visualnya.

Untuk mengatasi masalah visualisasi grafik, salah satu perangkat lunak yang luas digunakan adalah GeoGebra, yaitu aplikasi matematika dinamis yang menghubungkan konsep aljabar dan geometri secara visual (Hamid, 2026; Jannah, 2024; Rahayu et al., 2023; Simbolon, 2020). Penyajian visual interaktif pada media digital terbukti krusial untuk menjembatani pemahaman siswa serta memungkinkan mereka memanipulasi objek secara langsung (Arsyad, 2020; Nulhakim et al., 2022; Smaldino et al., 2019). Sejumlah penelitian terdahulu telah berupaya mengintegrasikan GeoGebra ke dalam media pembelajaran, seperti penggunaan aplikasi GeoGebra mandiri (*standalone*) berbasis perangkat lunak *offline* (Anggraeni & Suaedi, 2021) maupun pemanfaatan GeoGebra pada situs web konvensional berbasis Google Sites (Safitri et al., 2023). Namun, penelitian-penelitian tersebut masih menggunakan arsitektur web multi-halaman konvensional atau aplikasi terpisah. Penggunaan GeoGebra pada media tersebut masih menuntut siswa untuk berpindah-pindah jendela (*switch screen*) atau mengalami pemuatan ulang (*reload*) halaman web secara berulang saat membaca materi dan mengamati grafik. Kondisi tersebut memicu pemecahan fokus belajar siswa (*cognitive split-attention effect*) serta kurang efisien dalam alokasi waktu pembelajaran yang terbatas.

Sepanjang penelusuran peneliti, belum ada penelitian terdahulu yang secara spesifik mengembangkan media pembelajaran matematika berbasis arsitektur *Single-Page Application* (SPA) dengan integrasi GeoGebra secara *embedded split-screen* pada materi fungsi kuadrat untuk memfasilitasi kemampuan representasi visual. Media berbasis web memberikan fleksibilitas akses melalui peramban (*browser*) tanpa memerlukan instalasi perangkat lunak tambahan (Arsyad, 2020). Melalui arsitektur *Single-Page Application* (SPA), sebuah aplikasi web dapat memperbarui konten secara dinamis dan interaktif dalam satu halaman tunggal tanpa memerlukan proses *reload* seluruh dokumen (Flanagan, 2020). Berbasis keunggulan teknologi ini, materi tekstual, simulasi kalkulator grafis GeoGebra

interaktif dengan layar terpisah (*split-screen*), dan latihan soal dapat diintegrasikan secara presisi dalam satu antarmuka halaman web tunggal. Adanya fitur integrasi GeoGebra secara berdampingan memfasilitasi siswa untuk langsung mengamati perubahan grafik parabola secara *real-time* saat memanipulasi komponen aljabar a, b, c maupun diskriminan D.

Berdasarkan uraian permasalahan dan kebaruan (*novelty*) tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan media pembelajaran matematika berbasis web terintegrasi GeoGebra pada materi fungsi kuadrat. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mendeskripsikan proses pengembangan media pembelajaran matematika berbasis web terintegrasi GeoGebra; (2) menganalisis tingkat kevalidan dan kepraktisan media yang dikembangkan; serta (3) menganalisis tingkat keefektifan media dalam memfasilitasi kemampuan representasi visual siswa. Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu guru menyajikan grafik dinamis secara efisien, memudahkan siswa memahami hubungan aljabar dan grafik secara interaktif tanpa kendala instalasi, serta menjadi acuan pengembangan media pembelajaran digital pada topik matematika lainnya.

METODE

Penelitan ini menggunakan jenis penelitian R&D (*Research and Development*) dengan mengadopsi Model 4D yang dikembangkan oleh Thiagarajan et al., (1976). Prosedur pengembangan dilaksanakan melalui empat tahap utama, yaitu: *Define* (pendefinisian), *Design* (perancangan), *Develop* (pengembangan), dan *Disseminate* (penyebarluasan). Pada tahap *Define*, dilakukan analisis kebutuhan dan permasalahan visualisasi grafik siswa pada materi fungsi kuadrat di sekolah mitra. Tahap *Design* berfokus pada penyusunan arsitektur media berbasis web *Single Page Application* (SPA) dengan tata letak layar terpisah (*split-screen*) serta perancangan draf instrumen penelitian. Pada tahap *Develop*, dilakukan uji validasi produk oleh para ahli, uji coba kepraktisan, dan uji keefektifan media di kelas. Tahap akhir, *Disseminate*, dilakukan melalui publikasi media secara terbatas menggunakan *cloud*

hosting GitHub Pages serta penyerahan tautan media kepada guru matematika sekolah mitra.

Penelitian ini dilaksanakan di SMK Tahsinul Akhlaq dengan subjek uji coba sebanyak 20 siswa Kelas XI TKJ. Pemilihan subjek didasarkan pada pertimbangan bahwa siswa telah menerima materi fungsi kuadrat serta memiliki kecakapan digital dan aksesibilitas gawai yang mendukung. Pelaksanaan penelitian ini tetap memperhatikan etika penelitian, di mana partisipasi siswa bersifat sukarela serta seluruh identitas partisipan dijaga kerahasiaannya. Data penelitian terdiri dari data kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif berupa masukan, saran, dan kritik perbaikan dari validator ahli. Sementara itu, data kuantitatif meliputi skor validasi ahli media dan ahli materi, skor angket respon siswa, serta nilai tes hasil belajar siswa (*pre-test* dan *post-test*).

Instrumen pengumpulan data yang digunakan meliputi: (1) lembar validasi ahli media; (2) lembar validasi ahli materi (yang mencakup penilaian kelayakan substansi materi sekaligus kelayakan instrumen tes); (3) lembar validasi angket respon siswa; (4) angket respon siswa berbasis skala Likert 5 tingkat (Sangat Setuju hingga Sangat Tidak Setuju); serta (5) soal tes kemampuan representasi visual (*pre-test* dan *post-test*). Seluruh instrumen lembar validasi menggunakan skala penilaian skor 1–5 (Sangat Sesuai hingga Tidak Sesuai). Proses validasi dilakukan oleh dua orang validator ahli, yaitu Bapak Nur Hamid, Ph.D. selaku ahli media yang menilai aspek desain antarmuka dan interaktivitas sistem, serta Ibu Arini Hidayati, S.Si, M.Pd. selaku ahli materi yang menilai kelayakan isi materi, kecukupan instrumen soal tes, sekaligus memvalidasi lembar angket respon siswa. Validitas instrumen tes dijamin melalui validitas isi berdasarkan penilaian ahli oleh validator materi terhadap kesesuaian butir soal dengan indikator kemampuan representasi visual pada materi fungsi kuadrat.

Teknik analisis data dalam penelitian ini mencakup analisis deskriptif kualitatif dan kuantitatif. Data hasil validasi ahli dan angket respon siswa dianalisis secara persentase menggunakan rumus $P = \frac{Skor\ yang\ diperoleh}{Skor\ Maksimal} \times 100\%$, dengan P merupakan

nilai persentase kevalidan dan kepraktisan. Hasil persentase kemudian dikategorikan berdasarkan kriteria kevalidan dan kepraktisan. Tingkat keefektifan media diukur melalui peningkatan skor hasil tes siswa (*pre-test* dan *post-test*) menggunakan rumus *Normalized Gain* (N-Gain) individu $g = \frac{Skor\ Posttest - Skor\ Pretest}{Skor\ Maksimal - Skor\ Pretest}$ (Hake, 1998). Skor N-Gain rata-rata kelas selanjutnya diinterpretasikan untuk menentukan tingkat keefektifan media dalam memfasilitasi kemampuan representasi visual siswa pada kategori tinggi ($g > 070$), sedang ($0{,}30 \leq g \leq 0{,}70$) atau rendah ($g < 0{,}30$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian

Penelitian ini menghasilkan produk berupa media pembelajaran matematika berbasis web yang terintegrasi secara langsung dengan GeoGebra pada materi fungsi kuadrat. Pengembangan produk ini mengacu pada prosedur Model 4D yang meliputi 4 tahapan utama: *Define* (Pendefinisian), *Design* (Perancangan), *Develop* (Pengembangan), dan *Disseminate* (Penyebarluasan). Tahap *Define* bertujuan untuk menetapkan dan mendefinisikan syarat-syarat kebutuhan dalam pembelajaran matematika pada materi fungsi kuadrat di sekolah mitra. Berdasarkan studi pendahuluan dan wawancara bersama Guru Matematika SMK Tahsinul Akhlaq, diperoleh informasi bahwa siswa mengalami hambatan saat diminta memvisualisasikan grafik parabola berdasarkan bentuk umum $f(x) = ax^2 + bx + c$. Siswa cenderung menghafal rumus tanpa memahami makna geometris dari koefisien a dan konstanta c.

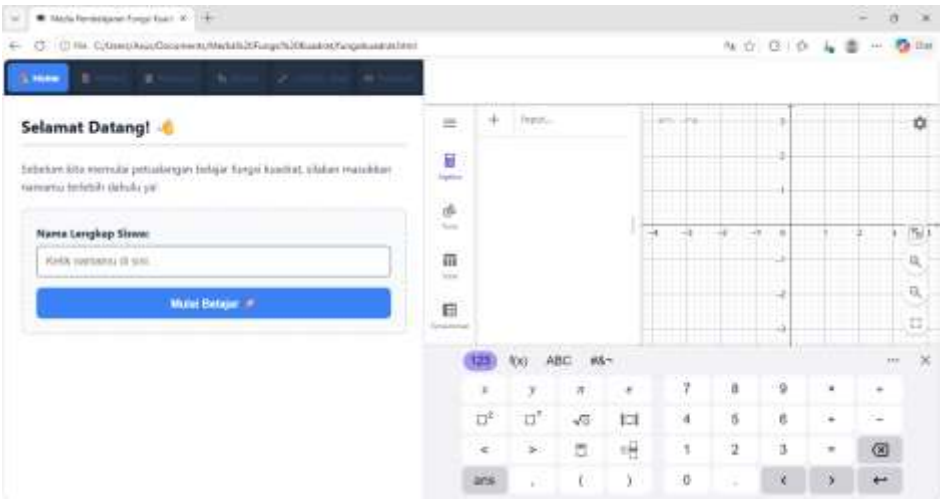
Siswa SMK Tahsinul Akhlaq belum pernah menggunakan media atau perangkat lunak interaktif seperti GeoGebra dalam pembelajaran matematika sebelumnya. Di sisi lain, penggunaan GeoGebra secara mandiri/terpisah (*standalone application*) dinilai kurang praktis jika langsung diterapkan, karena siswa harus

menginstal aplikasi tambahan yang membebani kapasitas memori perangkat serta berulang kali berpindah-pindah jendela aplikasi (*switch screen*) antara modul bacaan dan aplikasi GeoGebra yang dapat memecah fokus belajar. Berdasarkan hal tersebut, siswa membutuhkan media pembelajaran berbasis web (*Single-Page Application*) yang mengintegrasikan materi bacaan, latihan soal, dan simulasi GeoGebra secara berdampingan (*split-screen*). Media ini sangat dibutuhkan agar siswa yang baru pertama kali mengenal GeoGebra dapat memanipulasi objek visual secara langsung dan praktis tanpa perlu instalasi tambahan maupun berpindah jendela aplikasi.

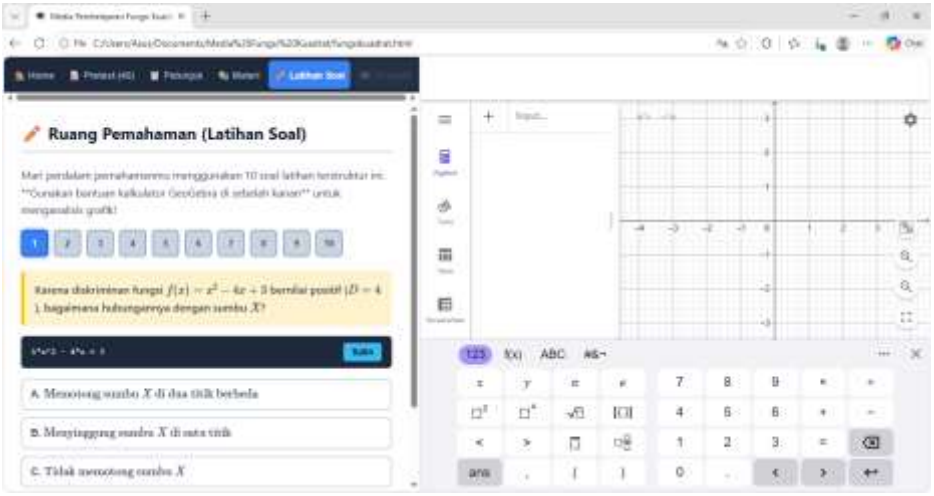
Penelitian ini melibatkan 20 siswa Kelas XI TKJ SMK Tahsinul Akhlaq. Kelompok siswa ini dipilih karena materi Fungsi Kuadrat telah mereka pelajari pada kelas X. Selain itu, mereka dipilih karena memiliki kecakapan gawai yang baik serta ditunjang oleh kesiapan infrastruktur digital. Meskipun belum pernah menggunakan GeoGebra, siswa Kelas XI TKJ merupakan generasi yang akrab dengan teknologi digital (*digital native*) dan antusias terhadap media pembelajaran berbasis teknologi baru. Siswa lebih mudah menyerap materi abstrak apabila disajikan melalui media visual interaktif yang intuitif, responsif, dan mudah diakses langsung via *browser*. Hal ini menjadikan mereka subjek yang sangat ideal untuk menerapkan pembelajaran matematika berbasis media berbasis web terintegrasi GeoGebra.

Pada tahap *Design*, hasil analisis kebutuhan ditransformasikan ke dalam media pembelajaran berbasis web. Perancangan *Layout,* media dirancang menjadi satu halaman utuh (*Single-Page Application*). Sisi kiri digunakan untuk menyajikan menu navigasi interaktif, uraian materi fungsi kuadrat, latihan soal beserta pembahasannya, serta ruang pengerjaan kuis (*Pre-test*, dan *Post-test*). Sisi kanan mengintegrasikan lembar kerja kalkulator grafis GeoGebra secara langsung di samping materi teks. Tata letak berdampingan ini dirancang agar siswa dapat

membaca instruksi materi di sisi kiri sekaligus mengamati perubahan bentuk grafik parabola di sisi kanan secara serentak dalam satu layar peramban (*browser*).



Gambar 1. Halaman Awal Media



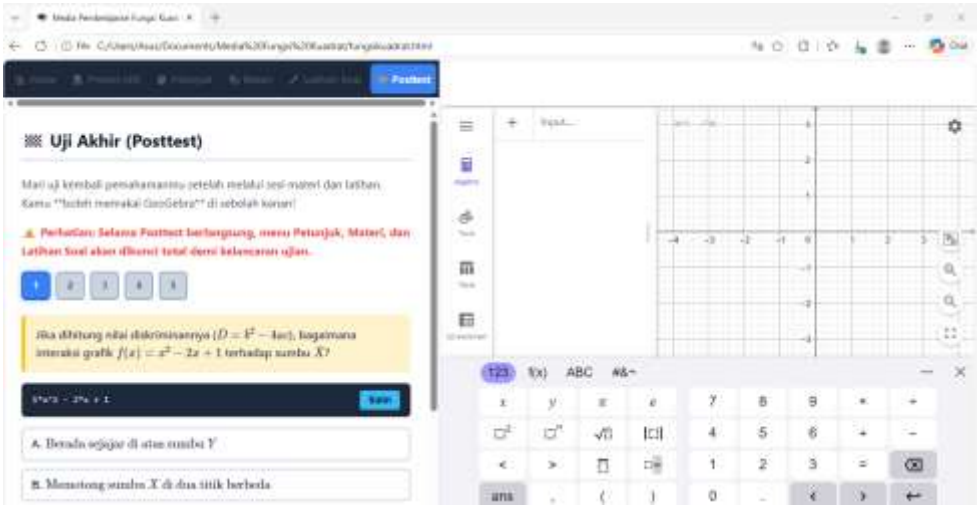
Gambar 2. Halaman Latihan Soal

E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 3665-3689
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026

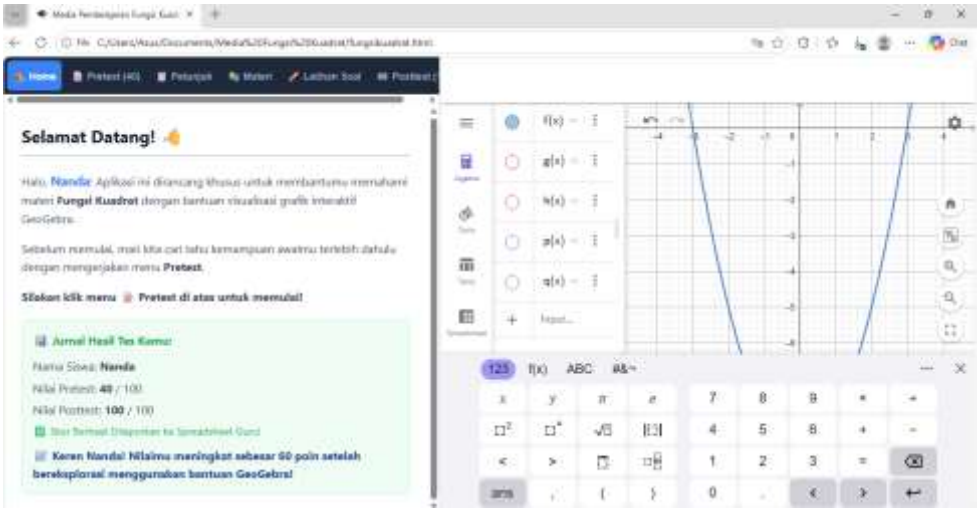
Perancangan navigasi dan aksesibilitas, pada saat aplikasi pertama kali dibuka, semua tombol menu navigasi (*Pretest, Petunjuk, Materi, Latihan, dan Posttest*) dinonaktifkan secara bawaan agar siswa tidak dapat melompati tahapan belajar sebelum menginputkan nama lengkap mereka pada halaman utama (*Home*). Selanjutnya, pada menu navigasi pretest, latihan soal, dan posttest komponen navigasi berbentuk kotak nomor (*grid*) yang memungkinkan siswa berpindah soal secara acak bebas. Soal-soal evaluasi pretest dan posttest disusun dengan penomoran opsi berlabel A, B, C, D yang tegas. Disediakan pula fitur tombol *"Salin"* otomatis pada latihan soal dan posttest untuk mempercepat siswa memindahkan rumus fungsi ke kolom GeoGebra tanpa risiko salah ketik. Perancangan sistem penguncian menu ujian (*posttest*), dikembangkan logika pemrograman untuk mengunci *sidebar* menu. Saat menu ujian (*post-test*) sedang diakses, menu pendukung (*Materi, Petunjuk, Latihan*) aksesnya tertutup total guna meminimalkan kecurangan dan menjaga keaslian hasil tes siswa. Perancangan laporan nilai otomatis, menghubungkan sistem tes pada *website* dengan *Google Apps Script* untuk memproses pengiriman rekapitulasi nilai siswa secara *real-time* ke Google Sheets.

E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258

Halaman 3665-3689
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026



Gambar 3. Halaman *Post-Test*



Gambar 4. Halaman Laporan Nilai Otomatis

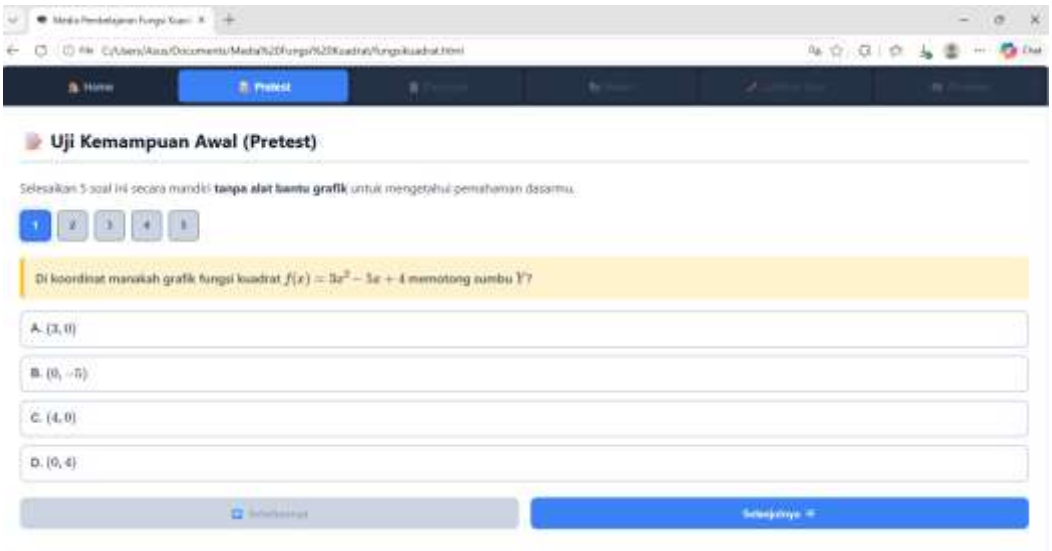
Pada tahap ini, peneliti juga menyusun instrumen pengumpulan data yang diperlukan untuk mengukur kualitas media yang dikembangkan yaitu lembar validasi serta lembar angket respon siswa. Lembar validasi berupa lembar penilaian kevalidan media, lembar penilaian kevalidan materi, dan lembar penilaian kevalidan instrumen angket respon. Lembar angket respon yang disusun peneliti berupa lembar angket respon siswa.

Tahap *Develop* merealisasikan draf desain menjadi sebuah aplikasi web yang utuh, yang kemudian diuji kualitas akademisnya hingga dinyatakan valid. Uji Validasi Prototipe awal media diuji oleh dua orang dosen sebagai validator yaitu satu orang dosen sebagai validator ahli media yaitu Bapak Nur Hamid, Ph.D dan satu orang dosen sebagai ahli materi sekaligus validator angket respon siswa yaitu Ibu Arini Hidayati, S.Si, M.Pd. Hasil uji validasi menunjukkan bahwa tingkat kevalidan media mencapai 92,5% dengan kriteria “Sangat Valid”, sedangkan nilai kevalidan dari ahli materi mencapai 90% dengan kriteria “Sangat Valid”. Selain itu, tingkat kevalidan angket respon siswa yaitu 87,5% dengan kriteria “Sangat Valid”.

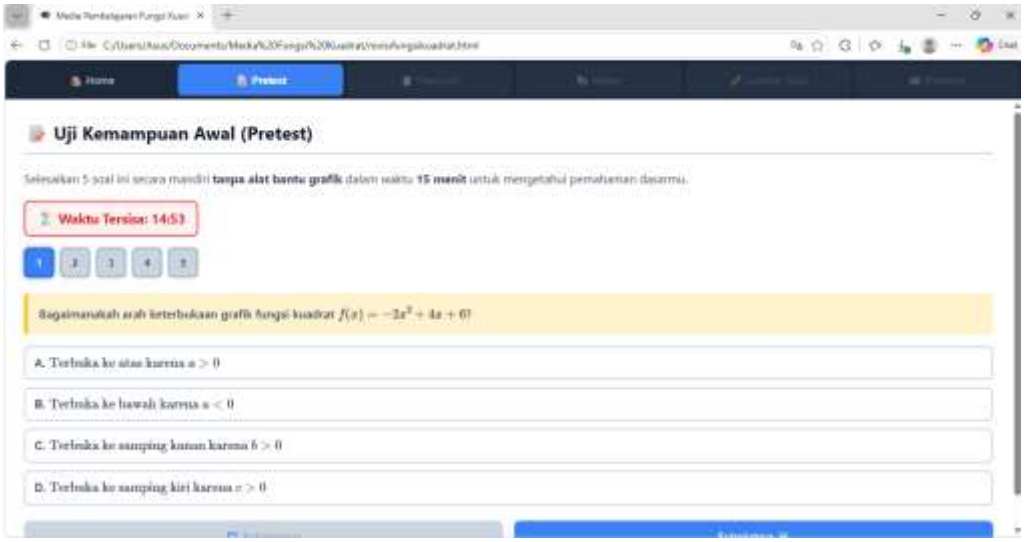
Perbaikan komprehensif berdasarkan masukan dari ahli media yaitu menambahkan penanda waktu pada *pre-test* dan *post-test*, serta mengurangi beberapa feedback yang terlalu sering muncul. Seperti Gambar 7 yang merupakan salah satu feedback yang muncul pada akhir pre-test, latihan soal, dan post-test. Peneliti menghapus feedback tersebut pada latihan soal karena di latihan soal dirasa tidak perlu ada feedcak tersebut. Peneliti telah merampungkan seluruh revisi akhir (*final revision*) dan produk telah diverifikasi ulang oleh para validator. Dengan diselesaikannya tahap ini, media interaktif berbasis web telah dinyatakan valid sepenuhnya secara kelayakan materi dan media.

E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258

Halaman 3665-3689
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026

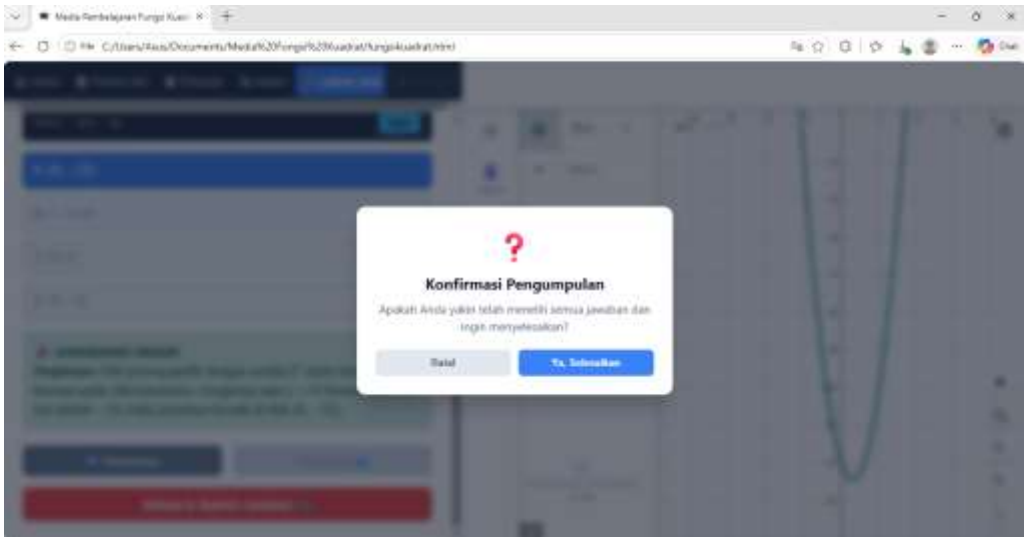


Gambar 5. Halaman *Pre-Test* Sebelum Ada Penanda Waktu



Gambar 6. Halaman *Pre-Test* Setelah Ada Penanda Waktu

E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 3665-3689
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026



Gambar 7. Feedback yang Sering Muncul

Setelah prototipe media direvisi dan dinilai valid pada aspek materi dan media, selanjutnya media berbasis web tersebut diuji cobakan kepada 20 siswa Kelas XI TKJ SMK Tahsinul Akhlaq. Kepraktisan media dinilai melalui angket respon siswa yang mencakup 8 butir indikator penilaian.Berdasarkan hasil pengolahan data angket respon dari 20 siswa, diperoleh akumulasi skor sebesar 664 dari skor maksimal 800. Hal ini menunjukkan bahwa kepraktisan media pembelajaran berbasis web mencapai persentase 83,0% dengan kategori "Sangat Praktis". Siswa memberikan tanggapan sangat positif, khususnya pada kemudahan mengakses modul dan simulasi grafik GeoGebra secara bersamaan melalui layar ganda (*split-screen*) tanpa perlu menginstal aplikasi tambahan ataupun melakukan berpindah jendela (*switch screen*). Selain itu, keberadaan fitur pendukung seperti tombol otomatis untuk menyalin rumus dan penanda waktu (*timer*) dinilai sangat membantu siswa dalam menyelesaikan latihan serta tes secara terstruktur.

Keefektifan media pembelajaran media berbasis web terintegrasi GeoGebra diukur berdasarkan peningkatan kemampuan representasi visual siswa pada materi fungsi kuadrat. Peningkatan tersebut diperoleh melalui pembandingan hasil belajar siswa *Pre-test* dan *Post-test* memanfaatkan media pembelajaran berbasis web dalam proses pembelajaran. Evaluasi tes ini diikuti oleh 20 siswa Kelas XI TKJ SMK Tahsinul Akhlaq sebagai subjek uji coba. Hasil ringkasan pencapaian nilai *Pre-test*, *Post-test*, beserta selisih peningkatan nilai rata-rata siswa disajikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Ringkasan Hasil *Pre-test* dan *Post-test* Siswa

Indikator Evaluasi	Pre-test	Post-test	Peningkatan
Nilai Rata-rata	50,0	82,0	+ 32,0
Nilai Minimal	20,0	60,0	+ 40,0
Nilai Maksimal	80,0	100,0	+ 20,0

Berdasarkan data pada Tabel 1 di atas, terlihat adanya peningkatan hasil belajar siswa yang signifikan setelah diterapkannya media. Nilai rata-rata kelas mengalami kenaikan sebesar 32,0 poin, yaitu dari rata-rata awal *Pre-test* sebesar 50,0 meningkat menjadi 82,0 pada *Post-test*. Capaian nilai rata-rata *Post-test* ini juga telah berhasil melampaui Kriteria Ketuntasan Minimal (KKM) mata pelajaran matematika di sekolah yaitu sebesar 70. Peningkatan juga terjadi pada skor minimal siswa (dari 20,0 menjadi 60,0) serta skor maksimal siswa yang mencapai nilai sempurna yaitu 100,0.

Untuk mengukur tingkat keefektifan peningkatan hasil belajar siswa secara terukur dan objektif, dilakukan analisis *Normalized Gain* (*N*-Gain) terhadap selisih

hasil tes tiap individu siswa. Rumus *N*-Gain yang digunakan mengacu pada persamaan sebagai berikut:

$$g = \frac{Skor\ Posttest - Skor\ Pretest}{Skor\ Maksimal - Skor\ Pretest}$$

Berdasarkan hasil perhitungan skor *N*-Gain individu terhadap 20 siswa, diperoleh akumulasi total skor *N*-Gain sebesar $14{,}00$. Selanjutnya, nilai rerata *N*-Gain klasikal dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Rerata } N - \text{Gain} = \frac{\sum N - \text{Gain Individu}}{N} = \frac{14{,}00}{20} = 0{,}70$$

Merujuk pada kriteria pengkategorian *N*-Gain menurut Hake (1998), perolehan nilai rerata *N*-Gain sebesar 0,70 berada pada batas kategori "sedang" $(0{,}30 \leq g \leq 0{,}70)$. Hasil analisis data ini menyimpulkan secara empiris bahwa media berbasis web terintegrasi GeoGebra efektif dalam memfasilitasi peningkatan kemampuan representasi visual siswa pada materi fungsi kuadrat.

Tabel 2. Kriteria Pengkategorian *N*-Gain

Rentang Skor *N*-Gain ($\boldsymbol{g}$)	Kategori/Interpretasi Keefektifan
$g > 0{,}70$	Tinggi/sangat efektif
$0{,}30 \leq g \leq 0{,}70$	Sedang/efektif
$g < 0{,}30$	Redah/kurang efektif

Tahap *Disseminate* (*disseminate*) merupakan tahap akhir dari prosedur pengembangan Model 4D. Pada penelitian ini, tahap penyebarluasan dilakukan secara terbatas (*limited dissemination*) mengingat fokus pengembangan dan uji coba

produk ditujukan untuk mengoptimalkan pembelajaran matematika di sekolah mitra, yaitu SMK Tahsinul Akhlaq. Setelah seluruh proses validasi instrumen dan revisi prototipe selesai serta dinyatakan valid penuh oleh para ahli, media baru dipublikasikan secara resmi (*deployment*) berbasis *cloud hosting* pada platform GitHub Pages. Alur ini secara ilmiah diterapkan untuk memastikan bahwa produk yang diakses secara publik telah memenuhi standar kevalidan dan terbebas dari kesalahan teknis. Publikasi ini bertujuan untuk menjamin fleksibilitas dan kemudahan akses tanpa batasan ruang dan waktu, sehingga media dapat diakses secara gratis oleh siapa saja melalui peramban (*browser*) pada perangkat komputer, laptop, maupun gawai (*smartphone*). Selanjutnya, peneliti melakukan penyerahan produk secara resmi kepada Guru Mata Pelajaran Matematika di SMK Tahsinul Akhlaq berupa tautan *website* media. Penyerahan ini dimaksudkan agar media dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sarana pembelajaran interaktif pendukung di laboratorium komputer maupun bahan ajar mandiri siswa pada masa mendatang. Sebagai langkah penutup tahap penyebarluasan, tautan *website* media dibagikan secara langsung ke dalam grup komunikasi siswa Kelas XI TKJ. Melalui pembagian tautan tersebut, siswa dapat mengulang materi, memperdalam pemahaman simulasi grafik GeoGebra, serta berlatih soal secara mandiri di luar jam sekolah secara praktis dan fleksibel

Pembahasan

Pengembangan media pembelajaran matematika berbasis web terintegrasi GeoGebra pada materi fungsi kuadrat dirancang menggunakan Model 4D untuk menjawab permasalahan nyata di sekolah mitra. Berdasarkan studi pendahuluan di SMK Tahsinul Akhlaq, siswa mengalami kesulitan memvisualisasikan grafik parabola

dan cenderung menghafal rumus tanpa memahami makna geometris. Kesulitan visualisasi ini sejalan dengan temuan Ngilamele et al., (2025); Sholekah et al., (2025); Suhendra et al., (2025). Di sisi lain, penggunaan GeoGebra secara mandiri (*standalone*) dinilai kurang praktis karena mewajibkan instalasi aplikasi dan mengharuskan siswa berpindah-pindah jendela (*switch screen*), sehingga memecah fokus belajar.

Inovasi utama dari media yang dikembangkan terletak pada penerapan arsitektur *Single-Page Application* (SPA) dengan tampilan layar ganda (*split-screen*). Materi tekstual dan latihan soal disajikan di sisi kiri, sementara kalkulator grafis GeoGebra terintegrasi secara langsung di sisi kanan. Tata letak ini terbukti mempermudah 20 siswa Kelas XI TKJ dalam memanipulasi koefisien aljabar dan melihat perubahan bentuk grafik secara langsung tanpa berpindah aplikasi. Hal ini sejalan dengan pendapat Arsyad (2020) serta Smaldino et al (2019) mengenai efisiensi dan interaktivitas media berbasis web.

Berdasarkan hasil pengujian, media ini terbukti memenuhi tiga kriteria kualitas pengembangan, yaitu valid, praktis, dan efektif. Hasil validasi oleh Bapak Nur Hamid, Ph.D. (ahli media) memperoleh skor 92,5% (sangat valid), sedangkan validasi oleh Ibu Arini Hidayati, S.Si., M.Pd. (ahli materi) memperoleh skor 90% (sangat valid), serta validasi angket respon sebesar 87,5%. Kelayakan ini dicapai setelah melakukan perbaikan komprehensif, seperti penambahan fitur penanda waktu (*timer*) pada tes dan penyederhanaan umpan balik (*feedback*). Uji coba kelompok kecil pada 20 siswa Kelas XI TKJ menghasilkan akumulasi skor angket sebesar 664 dari 800 atau mencapai persentase 83,0% dengan kategori "Sangat Praktis". Siswa memberikan respon positif terhadap kemudahan aksesibilitas via *browser*, fitur tombol "Salin" rumus otomatis, serta penanda waktu yang membantu penyelesaian latihan secara

terstruktur. Keefektifan media ditunjukkan oleh peningkatan hasil belajar siswa yang dianalisis menggunakan uji *Normalized Gain* (*N*-Gain) dengan perolehan rerata skor 0,70 (kategori sedang/efektif) serta peningkatan rata-rata nilai dari 50,0 menjadi 82,0. Peningkatan skor ini sejalan dan saling memperkuat dengan hasil angket respon siswa yang mencapai persentase 83,0% (sangat praktis).

Perolehan *N*-Gain sebesar 0,70 yang termasuk dalam kategori Sedang / Efektif ini mengindikasikan bahwa median berbasis web terintegrasi GeoGebra mampu memfasilitasi transformasi pemahaman konsep siswa secara optimal. Peningkatan yang signifikan ini terjadi karena integrasi tampilan *split-screen* dan fitur interaktif GeoGebra berhasil mereduksi beban kognitif siswa dalam memvisualisasikan sifat-sifat grafik fungsi kuadrat. Interaksi langsung dengan media memungkinkan siswa melakukan eksplorasi mandiri, mengonfirmasi dugaan secara visual, dan memperbaiki miskonsepsi secara *real-time* sebelum pelaksanaan *post-test*. Pada tahap *disseminate*, media dipublikasikan secara terbuka melalui platform *cloud hosting* GitHub Pages, serta diserahterimakan kepada Guru Matematika SMK Tahsinul Akhlaq. Keberhasilan integrasi media berbasis SPA ini mendukung pandangan Flanagan (2020) bahwa platform terpadu dapat menjaga fokus belajar siswa secara optimal. Secara keseluruhan, media yang dikembangkan tidak hanya menyelesaikan kendala teknis *switch screen*, tetapi juga terbukti praktis dan efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep fungsi kuadrat.

Selama pelaksanaan penelitian dan uji coba lapangan, terdapat beberapa kendala yang dihadapi. Kendala utama berkaitan dengan variasi kestabilan koneksi internet di lokasi sekolah mitra yang sempat menyebabkan sedikit keterlambatan (*lag*) saat pertama kali memuat (*rendering*) elemen kalkulator grafis GeoGebra pada beberapa gawai siswa. Selain itu, karena sebagian besar siswa belum pernah

mengeksplorasi GeoGebra sebelumnya, beberapa siswa memerlukan pendampingan ekstra pada 10 menit awal untuk memahami fungsi tombol simulasi dan cara memasukkan rumus aljabar secara benar pada layar *split-screen*. Namun, kendala ini dapat teratasi dengan tersedianya petunjuk penggunaan interaktif di dalam media serta adanya tombol otomatis "Salin" rumus yang meminimalkan kesalahan pengetikan siswa.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dinyatakan secara eksplisit. Pertama, uji coba produk baru dilaksanakan pada lingkup kelompok kecil terbatas yang melibatkan 20 siswa Kelas XI TKJ di satu sekolah mitra, sehingga generalisasi hasil keefektifan pada populasi yang lebih luas masih memerlukan pengujian lanjutan pada skala sampel yang lebih besar. Kedua, cakupan materi matematika dalam media ini dibatasi pada topik Fungsi Kuadrat, belum mencakup topik fungsi atau geometri interaktif lainnya. Ketiga, media ini dikembangkan berbasis web yang membutuhkan koneksi internet, sehingga belum dapat diakses secara maksimal pada lingkungan sekolah tanpa akses internet yang stabil. Keterbatasan ini menjadi peluang bagi peneliti selanjutnya untuk menguji media pada skala sampel yang lebih luas serta mengembangkan versi *offline* atau aplikasi *PWA (Progressive Web App)*.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan pengembangan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa media pembelajaran matematika berbasis web (*Single-Page Application*) terintegrasi GeoGebra pada materi fungsi kuadrat telah berhasil dikembangkan dengan mengadopsi Model 4D (*Define, Design, Develop, Disseminate*). Media pembelajaran yang dikembangkan memenuhi kriteria sangat

valid dengan persentase kevalidan media sebesar 92,5% dan kevalidan materi sebesar 90,0%, serta memenuhi kriteria sangat praktis berdasarkan angket respon siswa yang mencapai persentase 83,0%. Selain itu, media terbukti efektif dalam memfasilitasi peningkatan kemampuan representasi visual siswa, yang ditunjukkan oleh peningkatan nilai rata-rata dari 50,0 (*pre-test*) menjadi 82,0 (*post-test*) serta pencapaian rerata nilai N-Gain sebesar 0,70 yang berada pada kategori sedang/efektif.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, yaitu skala uji coba yang masih terbatas pada kelompok kecil (20 siswa Kelas XI TKJ di satu sekolah mitra), cakupan materi yang dibatasi pada topik Fungsi Kuadrat, serta sifat media berbasis web yang membutuhkan koneksi internet stabil. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji coba keefektifan media ini pada populasi siswa yang lebih luas, memperluas cakupan pada topik matematika interaktif lainnya, serta mengembangkannya ke dalam bentuk aplikasi *offline* atau *Progressive Web App* (PWA).

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penerbitan, Penelitian, dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LP3M) Universitas Nurul Jadid atas dukungan pelaksanaan penelitian ini, serta SMK Tahsinul Akhlaq yang telah bersedia menjadi tempat penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Anggraeni, E. R., & Suaedi, M. (2021). PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN MATEMATIKA BERBASIS GEOGEBRA UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN PEMAHAMAN KONSEP SISWA. *PROXIMAL: Jurnal Penelitian Matematika Dan Pendidikan Matematika*, *4*(1), 43–55.

Arcavi, A. (2003). THE ROLE OF VISUAL REPRESENTATIONS IN THE LEARNING OF MATHEMATICS. *Educational Studies in Mathematics 52:*, 215–241.

Arsyad, A. (2020). *Media Pembelajaran*. PT. Raja Grafindo Persada.

Flanagan, D. (2020). *JavaScript: The Definitive Guide (7th ed).* O'Reilly Media.

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, *66*(1), 64–74. http://link.aip.org/link/?AJPIAS/66/64/1%5Cnpapers2://publication/doi/doi:10.1119/1.18809%5Cnhttp://www.mendeley.com/research/interactiveengagement-versus-traditional-methods-a-sixthousandstudent-survey-of-mechanics-test-data-for-introductory-physics-cour

Hamid, A. (2026). PEMANFAATAN GEOGEBRA DALAM PEMBELAJARAN GEOMETRI ANALITIK UNTUK MENINGKATKAN VISUALISASI DAN PEMAHAMAN KONSEPTUAL MAHASISWA. *Proximal: Jurnal Penelitian Matematika Dan Pedidikan Maematika*, *9*(2), 489–496.

Husaini, M., Pasandaran, R. F., Karmila, & Sukmawati. (2024). DESKRIPSI KEMAMPUAN REPRESENTASI MATEMATIS SISWA KELAS VIII SMP / MTS DITINJAU DARI GAYA KOGNITIF VISUALIZER. *Pedagogy: Jurnal Pendidikan Matematika*, *9*(1), 303–318.

Jannah, M. (2024). Analisis Kemampuan Berpikir Komputasi Menggunakan Software Geogebra Dalam Pembelajaran Matematika Pada Kelas 7 SMP. *Jurnal Pendidikan Dan Pengajaran*, *2*(5), 155–160.

Kurniasari, Y., Sugandi, A. I., & Sariningsih, R. (2021). ANALISIS KESALAHAN SISWA KELAS X DALAM MENYELESAIKAN SOAL MATERI FUNGSI KUADRAT BERDASARKAN PROSEDUR KASTOLAN. *JPMI: Jurnal Pembelajaran Matematika Inovatif*, *4*(6), 1561–1568. https://doi.org/10.22460/jpmi.v4i6.1561-

1568

Mainali, B. (2021). Representation in Teaching and Learning Mathematics. *International Journal of Education in Mathematics, Science, and Technology (IJEMST*, *9*(1), 1–21.

Mundilarto, M. (2019). *Konsep dan Aplikasi Fungsi dan Grafik dalam Matematika*. UNY Press.

NCTM. (2000). *Principles and Standards for SCHOOL MATHEMATICS*.

Ngilamele, A., Mataheru, W., & Ramadhani, W. P. (2025). Analisis Representasi Matematis Siswa pada Materi Fungsi Kuadrat di Kelas IX SMP Negeri 1 Kairatu. *Jurnal Pendidikan Matematika Unpatti*, *6*(2), 128–136.

Nulhakim, A. L., Susanto, A., & Husain, A. (2022). Penggunaan Software GeoGebra untuk Meningkatkan Kemampuan Pemahaman Konsep Bangun Ruang Matematis Siswa. *Prosiding Seminar Nasional Sains*, *3*(1), 186–190.

Rahayu, M., Fricticarani, A., Humaeroh, M., Aropiq, R. P., & Septiani, T. (2023). Penggunaan Software Geogebra Untuk Meningkatkan Pemahaman Dalam Materi Fungsi Trigonometri Pada Jenjang SMA. *Cendekia: Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran*, *17*(1), 136–151. https://doi.org/10.30957/cendekia.v17i1.840

Safitri, S. T., Darminto, B. P., & Purwaningsih, W. I. (2023). Pengembangan Media Pembelajaran Matematika Berbasis Web Berbantu Geogebra untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Siswa SMP. *Jurnal Gammath*, *8*(1), 39–46.

Sari, S. I., Asnawi, Fransyaigu, R., & Sukirno. (2019). Analisis Kemampuan Representasi Visual Matematis Siswa pada Materi Sudut di Kelas IV SD Negeri 1 Kebun Lama Langsa Tahun Pelajaran 2018/2019. *Jurnal of Basic Education Studies*, *2*(2), 103–115.

Sholekah, Ii., Andaini, S. K., & Rofiki, I. (2025). Penerapan Model Pembelajaran

Discovery Learning Berbantuan GeoGebra untuk meningkatkan Hasil Belajar Materi Fungsi Kuaddrat. *MATHEdunesa*, *14*(1), 245–260. https://doi.org/10.26740/mathedunesa.v14n1.p245-260

Simbolon, A. K. (2020). Penggunaan Software Geogebra dalam Meningkatkan Kemampuan Matematis Siswa pada Pembelajaran Geometri Di SMPN 2 Tanjung Morawa. *Jurnal Cendekia: Jurnal Pendidikan Matematika*, *4*(2), 1106–1114.

Smaldino, S. E., Lowther, D. L., & Mims, C. (2019). *Instructional Technology and Media for Learning (12th ed.)*. Pearson.

Suhendra, M., Hakim, R. N., & Arifin, Z. (2025). ANALISIS MINAT BELAJAR SISWA DALAM PELAJARAN MATEMATIKA ADA MATERI GRAFIK FUNGSI KUADRAT MENGGUNAKAN DESMOS. *ELIPS; JURNAL PENDIDIKAN MATEMATIKA*, *6*(1), 91–99.

Thiagarajan, S., Semmel, D. S., & Semmel, M. I. (1976). Instructional development for training teachers of exceptional children: A sourcebook. In *Indiana University*. https://doi.org/10.1016/0022-4405(76)90066-2