

Rancang Bangun dan Evaluasi Penerimaan Pengguna Game Edukasi Trigonometri “Trigosolver” menggunakan Unity Engine dengan Metode Agile

Design, Development, and User Acceptance Evaluation of the “Trigosolver” Trigonometry Educational Game using the Unity Engine and the Agile Method

¹Zainul Arham, ²Yusuf Durachman, ³Hikam Rizqillah Munandar*, ⁴Nur Aeni Hidayah, ⁵Nia Kumaladewi

^{1,2,3,4,5}Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta Indonesia

^{1,2,3,4,5}Jl. Ir. H. Juanda No. 95, Ciputat, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia 15412

*e-mail: zainul.arham@uinjkt.ac.id, yusuf_durachman@uinjkt.ac.id, hikam.rizqillah@gmail.com, nur.aeni@uinjkt.ac.id, nia.kumaladewi@uinjkt.ac.id

(received: 21 January 2026, revised: 23 June 2026, accepted: 24 June 2026)

Abstrak

Matematika, khususnya materi Trigonometri, sering dianggap abstrak dan sulit dipahami oleh siswa Sekolah Menengah Atas (SMA) karena melibatkan visualisasi spasial yang kompleks. Metode pembelajaran konvensional yang berpusat pada hafalan rumus seringkali gagal membangun pemahaman konseptual yang kuat, mengakibatkan rendahnya motivasi belajar siswa. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membangun, dan mengevaluasi sebuah game edukasi interaktif bernama “Trigosolver” sebagai media pembelajaran alternatif. Aplikasi ini dikembangkan menggunakan Unity Engine dengan bahasa pemrograman C# dan metode pengembangan sistem Agile (Scrum) yang bersifat iteratif dan adaptif. Game ini menerapkan algoritma Pythagorean Triples berbasis rumus Euclid untuk menghasilkan soal secara dinamis (Procedural Content Generation) tanpa bilangan irasional, serta fitur validasi jawaban pecahan otomatis. Pengujian dilakukan melalui Black Box Testing untuk memvalidasi fungsionalitas dan User Acceptance Test (UAT) dengan instrumen kuesioner Skala Likert yang disusun berdasarkan ISO/IEC 25010 dan Technology Acceptance Model. Hasil pengujian Black Box menunjukkan seluruh fungsi permainan berjalan sesuai rancangan tanpa kesalahan. Evaluasi UAT terhadap 7 orang ahli materi dan media memperoleh persentase kelayakan 82,57% (kategori “Layak”) dengan reliabilitas instrumen sangat tinggi (Cronbach’s Alpha = 0,922). Hasil ini menunjukkan bahwa Trigosolver layak digunakan sebagai media pembelajaran alternatif yang membantu memvisualisasikan konsep abstrak sinus, cosinus, dan tangen, dengan kebutuhan penyempurnaan pada aspek antarmuka dan navigasi.

Kata kunci: agile, game edukasi, trigonometri, unity engine, visualisasi.

Abstract

Mathematics, particularly trigonometry, is often perceived by high school students as abstract and difficult to understand due to the complex spatial visualization it requires. Conventional teacher-centered instruction, which primarily emphasizes memorizing formulas, frequently fails to foster a strong conceptual understanding, resulting in low student motivation. This study aims to design, develop, and evaluate an interactive educational game called TrigoSolver as an alternative learning medium for trigonometry. The application was developed using the Unity Engine with the C# programming language and the Agile (Scrum) software development methodology, which supports iterative and adaptive development. The game incorporates a Pythagorean Triples algorithm based on Euclid’s formula to dynamically generate trigonometry problems through Procedural Content Generation (PCG) while avoiding irrational numbers. It also includes an automatic fraction-answer validation feature to improve the learning experience. The system was evaluated through Black Box Testing to verify functional correctness and a User Acceptance Test (UAT) using a Likert-scale

<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

questionnaire developed based on the ISO/IEC 25010 software quality standard and the Technology Acceptance Model (TAM). The Black Box Testing results confirmed that all game functionalities operated as intended without errors. The UAT, involving seven subject-matter and media experts, yielded an overall feasibility score of 82.57% (classified as "Feasible") with excellent instrument reliability (Cronbach's Alpha = 0.922). These findings indicate that TrigoSolver is a feasible alternative learning medium for helping students visualize abstract trigonometric concepts, including sine, cosine, and tangent. Nevertheless, further improvements to the user interface and navigation are recommended to enhance the overall user experience.

Keywords: agile, educational game, trigonometry, unity engine, visualization.

1 Pendahuluan

Transformasi pendidikan di era Revolusi Industri 4.0 menuntut integrasi teknologi digital yang mendalam untuk menciptakan ekosistem pembelajaran yang adaptif dan interaktif [1]. Pergeseran paradigma ini tidak hanya mengubah cara materi disampaikan, tetapi juga bagaimana siswa memproses informasi. Namun, implementasi teknologi pendidikan di Indonesia masih menghadapi tantangan disparitas literasi digital dan infrastruktur [2]. Dalam konteks kurikulum Sekolah Menengah Atas (SMA), Matematika sering kali menjadi mata pelajaran yang paling dihindari karena persepsi kesulitannya yang tinggi, yang berujung pada fenomena kecemasan matematika (*mathematics anxiety*) [3]. Kecemasan ini berdampak negatif pada memori kerja siswa, menghambat kemampuan mereka dalam memecahkan masalah yang kompleks.

Secara spesifik, materi Trigonometri merupakan salah satu topik yang paling menantang bagi siswa SMA. Kesulitan utama dalam mempelajari trigonometri terletak pada sifatnya yang sangat abstrak dan kebutuhan akan kemampuan visualisasi spasial yang kuat untuk memahami hubungan antara sudut dan sisi segitiga [4]. Siswa sering kali terjebak pada hafalan rumus prosedural ("Demi-Sami-Desa") tanpa memahami konsep dasar rasio segitiga siku-siku, terutama ketika orientasi gambar dirotasi atau diubah [5]. Metode pembelajaran konvensional yang bersifat satu arah (*teacher-centered*) sering kali gagal menjembatani kesenjangan antara konsep abstrak matematis dengan pemahaman visual siswa, menyebabkan penurunan motivasi dan keterlibatan belajar.

Untuk mengatasi hambatan kognitif dan afektif tersebut, pendekatan *Game-Based Learning* (GBL) menawarkan strategi intervensi yang potensial. *Game* edukasi mampu menyediakan lingkungan belajar yang imersif di mana siswa dapat berinteraksi langsung dengan objek pembelajaran [6]. Berbeda dengan media statis, *game* memberikan umpan balik instan (*real-time feedback*) dan mekanisme penghargaan (*reward system*) yang dapat memicu motivasi intrinsik siswa [7]. Penelitian menunjukkan bahwa visualisasi interaktif dalam *game* dapat menurunkan beban kognitif (*cognitive load*) siswa dengan cara menyajikan informasi abstrak ke dalam bentuk visual yang konkret, sesuai dengan prinsip *Cognitive Theory of Multimedia Learning* [8].

Dalam pengembangan media pembelajaran interaktif yang berkualitas, pemilihan perangkat lunak dan metodologi pengembangan menjadi faktor krusial. *Unity Engine* dipilih dalam penelitian ini karena keandalannya sebagai *platform* pengembangan lintas *platform* yang mendukung rendering grafis 2D/3D berkinerja tinggi serta simulasi fisika yang akurat [9]. Di sisi lain, pengembangan perangkat lunak pendidikan sering kali menghadapi ketidakpastian kebutuhan pengguna. Oleh karena itu, metode *Agile* dengan kerangka kerja *Scrum* diadopsi untuk memungkinkan pengembangan yang iteratif dan inkremental. Metode ini memungkinkan pengembang untuk merespons umpan balik pengguna dengan cepat di setiap siklus *sprint*, memastikan produk akhir sesuai dengan kebutuhan pedagogis siswa [10].

Meskipun banyak game matematika yang telah dikembangkan, sebagian besar masih terbatas pada format kuis pilihan ganda tanpa simulasi prosedural yang mendalam. Studi oleh Yuniani et al. [14], misalnya, menunjukkan peningkatan hasil belajar melalui media kuis digital, tetapi mekanismenya bertumpu pada bank soal statis yang disiapkan manual sehingga rawan menimbulkan efek menghafal jawaban alih-alih memahami konsep. Sementara itu, Yu et al. [15] secara empiris menegaskan dampak positif game edukasi terhadap motivasi dan keterlibatan, namun belum menyentuh aspek pembangkitan konten yang adaptif dan bebas bilangan irasional. Kesenjangan inilah—variabilitas soal yang rendah dan potensi distraksi aritmatika—yang menjadi justifikasi utama penelitian ini. Penelitian ini menawarkan kebaruan (*novelty*) melalui pengembangan game

<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

“Trigosolver” yang mengintegrasikan algoritma Pythagorean Triples berbasis rumus Euclid. Algoritma ini menjamin generasi soal secara dinamis dengan hasil bilangan bulat (integer), sehingga siswa dapat berfokus pada logika trigonometri tanpa terbebani kompleksitas aritmatika bilangan desimal. Berdasarkan paparan tersebut, tujuan utama penelitian ini adalah merancang, membangun, dan mengevaluasi penerimaan pengguna terhadap game edukasi trigonometri menggunakan Unity Engine dengan metode Agile yang valid secara fungsional dan layak sebagai media pembelajaran alternatif.

2 Tinjauan Literatur

Perancangan media pembelajaran interaktif untuk materi trigonometri memerlukan landasan teoretis yang kuat guna memastikan efektivitasnya dalam mengatasi hambatan kognitif siswa. Penelitian ini mengacu pada prinsip spasial dalam *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (CTML), yang menegaskan bahwa integrasi representasi verbal dan visual secara simultan dapat meningkatkan pemahaman konsep secara signifikan [12]. Hal ini sangat relevan mengingat kesulitan utama siswa dalam trigonometri sering kali bukan pada kemampuan aritmatika dasar, melainkan kegagalan dalam membangun model mental spasial saat menghadapi transformasi rotasi sudut segitiga [4]. Guna memfasilitasi kebutuhan visualisasi tersebut, pendekatan *Game-Based Learning* (GBL) diadopsi. Pendekatan ini tidak hanya menawarkan sistem penghargaan untuk memicu motivasi intrinsik [7], tetapi juga menyediakan lingkungan simulasi manipulatif yang memungkinkan siswa mengamati hubungan kausalitas antara perubahan sudut dan rasio sisi segitiga secara *real-time*.

Realisasi simulasi visual yang dinamis sangat bergantung pada pemilihan perangkat pengembangan yang tepat. *Unity Engine* dipilih dalam penelitian ini karena arsitekturnya yang berbasis komponen, yang memungkinkan simulasi fisika dan *rendering* grafis 2D presisi [9]. Fitur ini krusial untuk mensimulasikan transformasi objek segitiga serta mendeteksi interaksi input pengguna secara akurat. Selain itu, dukungan bahasa pemrograman C# dalam *platform* tersebut memungkinkan implementasi algoritma matematika kompleks, seperti pembangkitan bilangan *Pythagorean Triples*, untuk dijalankan secara efisien pada perangkat *mobile* dengan sumber daya terbatas. Kapabilitas ini menjadikan *platform* tersebut ideal untuk menciptakan media pembelajaran yang ringan namun kaya fitur (*feature-rich*) yang mendukung konsep *ubiquitous learning*.

Dari perspektif rekayasa perangkat lunak, pengembangan *game* edukasi memiliki karakteristik unik yang menuntut keseimbangan antara konten materi dan unsur hiburan. Metodologi pengembangan linier dinilai kurang relevan untuk konteks ini karena ketidakmampuannya mengakomodasi perubahan desain yang cepat. Sebaliknya, metodologi *Agile* dengan kerangka kerja *Scrum* terbukti lebih efektif. Pendekatan iteratif dalam *Scrum* memungkinkan validasi dini terhadap mekanika permainan melalui siklus pengembangan pendek (*sprint*), sehingga risiko kegagalan produk dapat dimitigasi dengan memastikan fitur yang dibangun benar-benar mendukung tujuan pedagogis sebelum tahap produksi aset [10].

Meskipun integrasi teknologi dalam pembelajaran matematika telah berkembang pesat, analisis terhadap literatur terkini menunjukkan adanya kesenjangan (*gap*) pada aspek variabilitas konten dan aksesibilitas perangkat. Mayoritas aplikasi yang tersedia saat ini masih didominasi oleh format evaluasi statis atau aplikasi yang membutuhkan spesifikasi perangkat keras tinggi. Posisi dan kontribusi kebaruan (*novelty*) penelitian ini dibandingkan dengan karya-karya terdahulu dirangkum dalam analisis komparatif pada Tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian saat ini (*state of the art*)

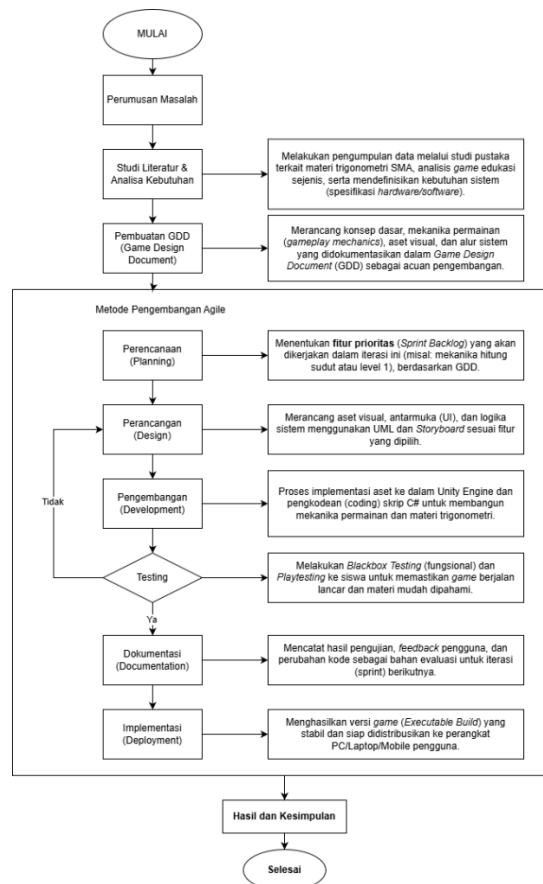
Peneliti (tahun)	Field 1	Field 2	Field 3
Yuniani <i>et al.</i> (2023) [14]	Penggunaan Quizizz untuk evaluasi matematika SD.	Soal bersifat statis (input manual) dan terbatas pada bank soal yang disiapkan.	Menggunakan <i>Procedural Content Generation</i> (PCG) untuk menghasilkan soal tak terbatas.
Zeng <i>et al.</i>	<i>Game</i> edukasi fisika interaktif berbasis	Memerlukan spesifikasi perangkat keras yang	Optimalisasi <i>mobile</i> (Android) yang ringan dan

(2020) [12]	desktop.	tinggi, kurang portabel.	dapat diakses kapan saja.
Hussain <i>et al.</i> (2020) [9]	Survei teknis pengembangan <i>game</i> Unity.	Fokus pada aspek teknis <i>engine</i> , tidak spesifik pada konten pedagogis matematika.	Implementasi spesifik algoritma matematika (<i>Pythagorean Triples</i>) ke dalam logika <i>game</i> .
Penelitian Ini (2026)	Game Edukasi Trigonometri "Trigosolver"	-	Integrasi algoritma pembangkit soal dinamis (bilangan bulat) dan validasi jawaban pecahan otomatis.

Tabel 1 memperlihatkan bahwa penelitian ini mengisi celah signifikan yang belum tersentuh studi sebelumnya. Keterbatasan utama pada penelitian [14] terletak pada statisnya variasi soal, yang berpotensi memicu siswa untuk sekadar menghafal jawaban daripada memahami konsep. Penelitian ini mengatasi masalah tersebut melalui integrasi algoritma berbasis rumus Euclid, yang menjamin ketersediaan soal variatif (*infinite replayability*) dengan hasil bilangan bulat. Di sisi lain, transisi platform ke *mobile* menjawab kendala aksesibilitas perangkat keras yang ditemukan pada penelitian [15], menjadikan media ini lebih inklusif. Sinergi antara algoritma prosedural cerdas dan metodologi pengembangan adaptif menjadi nilai kebaruan utama yang ditawarkan.

3 Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan model pengembangan *Research and Development* (R&D) yang dioperasionalkan menggunakan metodologi pengembangan perangkat lunak *Agile* dengan kerangka kerja *Scrum*. Pemilihan metodologi ini didasarkan pada karakteristik pengembangan *game* edukasi yang menuntut fleksibilitas tinggi terhadap perubahan kebutuhan desain antarmuka dan mekanika permainan selama proses produksi berlangsung [10]. Berbeda dengan model pengembangan linier seperti *Waterfall*, pendekatan *Agile* memungkinkan proses pengembangan dilakukan secara iteratif dan inkremental, sehingga setiap fitur yang dibangun dapat divalidasi secara bertahap untuk memastikan keselarasan antara konten edukasi dan elemen hiburan [11]. Alur tahapan pengembangan sistem dalam penelitian ini divisualisasikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Siklus pengembangan sistem dengan metode agile scrum

Mengacu pada Gambar 1, tahapan penelitian dimulai dengan fase inisialisasi dan perencanaan (*Sprint Planning*). Pada tahap ini, peneliti melakukan analisis kebutuhan pengguna untuk mengidentifikasi kesulitan belajar siswa pada materi trigonometri. Hasil identifikasi tersebut kemudian disusun ke dalam *Product Backlog*, yang berisi daftar prioritas fitur sistem seperti visualisasi segitiga dinamis, generator soal prosedural, dan mekanisme validasi jawaban. *Backlog* ini berfungsi sebagai acuan utama dalam menentukan ruang lingkup pekerjaan untuk setiap siklus *sprint* yang akan dijalankan.

Tahap selanjutnya adalah pelaksanaan *sprint* atau implementasi (*Development*). Pengembangan sistem dilakukan menggunakan *Unity Engine* versi 2021.3 LTS yang mendukung arsitektur berbasis komponen, memungkinkan integrasi aset visual 2D dan skrip logika secara efisien [9]. Penulisan kode program (*coding*) dilakukan menggunakan bahasa C# untuk menerjemahkan algoritma *Pythagorean Triples* menjadi fungsi pembangkit soal otomatis. Proses ini berlangsung secara siklik; setiap fitur yang selesai dikembangkan langsung diuji secara internal (*Unit Testing*) untuk meminimalisir kesalahan logika (*bug*) sebelum melangkah ke pengembangan fitur berikutnya.

Setiap iterasi *sprint* diakhiri dengan tahap evaluasi yang mencakup *Sprint Review* dan *Retrospective*. Pada tahap ini, validitas fungsional sistem diuji menggunakan metode *Black Box Testing* untuk memverifikasi kesesuaian antara input dan output tanpa memeriksa struktur kode internal [16]. Selain itu, *User Acceptance Test* (UAT) dilakukan kepada pengguna target untuk mengukur tingkat penerimaan terhadap aspek kegunaan (*usability*) dan pengalaman pengguna. Umpan balik yang diperoleh dari tahap evaluasi ini kemudian digunakan untuk memperbarui *backlog* dan memperbaiki sistem pada iterasi *sprint* berikutnya, memastikan produk akhir yang dihasilkan memiliki kualitas yang teruji.

Pengujian sistem dalam penelitian ini dilakukan melalui dua pendekatan yang saling melengkapi, yaitu *Black Box Testing* untuk memverifikasi validitas fungsional dan *User Acceptance Test* (UAT) untuk mengukur tingkat penerimaan pengguna [16]. Pengujian *Black Box* menerapkan teknik *Equivalence Partitioning*, yakni membagi domain masukan ke dalam kelas-kelas data sehingga setiap fungsi inti—generasi soal, mekanisme input tap-to-fill, validasi logika jawaban, sistem skor, dan

sistem nyawa—diuji berdasarkan kesesuaian antara masukan dan keluaran yang diharapkan tanpa memeriksa struktur kode internal.

Sumber data UAT pada penelitian ini adalah kelompok expert user yang dipilih secara purposif (purposive sampling), yaitu tujuh (7) orang mahasiswa aktif dan alumni Program Studi Pendidikan Matematika UIN Syarif Hidayatullah Jakarta. Kelompok ini menilai aplikasi dari sisi validitas konten dan kesesuaian pedagogis. Penggunaan expert user merupakan pendekatan yang diakui valid pada evaluasi formatif media pembelajaran sebelum uji lapangan berskala penuh [20]. Uji coba lapangan terhadap pengguna akhir (siswa) berada di luar ruang lingkup penelitian ini dan direkomendasikan sebagai tahap penelitian selanjutnya.

Instrumen evaluasi berupa kuesioner tertutup dengan Skala Likert lima poin (1 = Sangat Tidak Setuju hingga 5 = Sangat Setuju). Penyusunan indikator mengacu pada karakteristik Quality in Use dalam standar ISO/IEC 25010 [18], [22] serta konstruk perceived usefulness dan perceived ease of use pada Technology Acceptance Model [19]. Kuesioner terdiri atas sepuluh (10) indikator yang mencakup aspek antarmuka, kinerja, kesesuaian materi dengan kurikulum, dan dampak motivasional aplikasi.

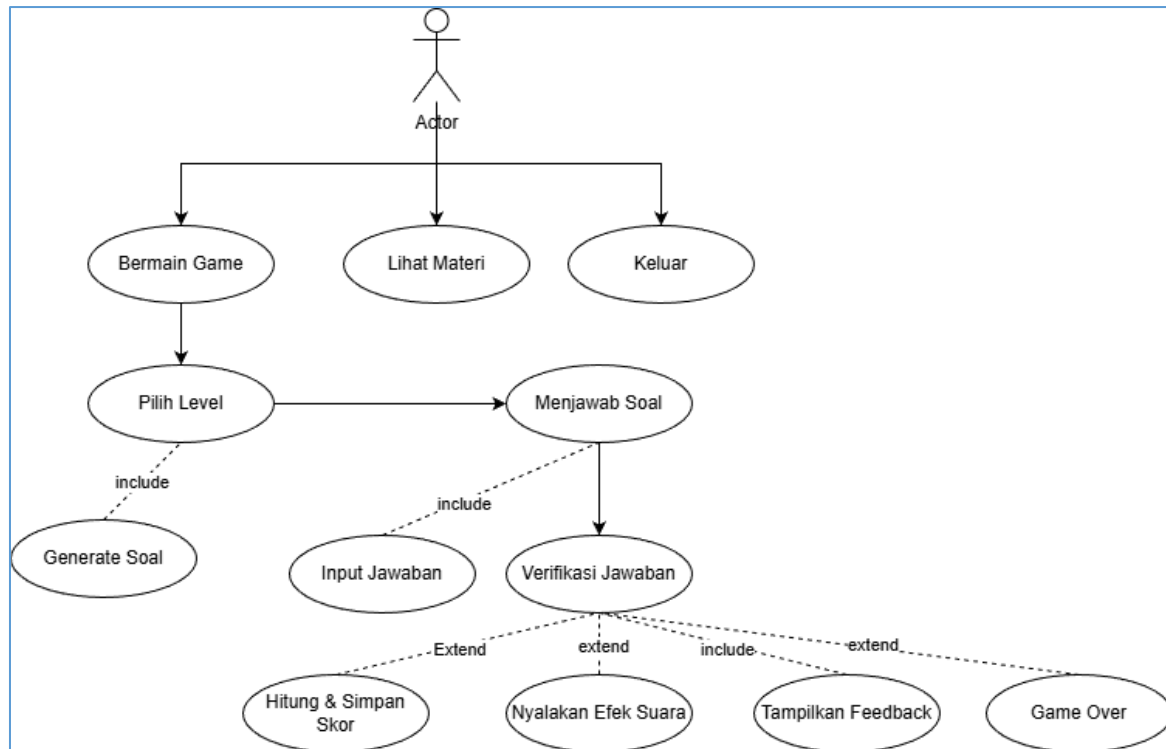
Data hasil kuesioner dianalisis menggunakan teknik statistik deskriptif kuantitatif. Skor rata-rata setiap indikator dihitung, kemudian tingkat kelayakan aplikasi ditentukan menggunakan rumus persentase kelayakan [17]: Persentase Kelayakan = (Skor yang diperoleh ÷ Skor maksimal ideal) × 100%. Skor rata-rata maupun persentase yang diperoleh selanjutnya diinterpretasikan ke dalam lima kategori kelayakan sebagaimana disajikan pada Tabel 2. Konsistensi internal (reliabilitas) instrumen kuesioner diuji menggunakan koefisien Cronbach's Alpha, dengan instrumen dinyatakan reliabel apabila nilai $\alpha \geq 0,70$ [23].

Tabel 2 Kriteria interpretasi tingkat kelayakan (arikunto, 2019)

Rentang Skor Rata-rata (1–5)	Persentase Kelayakan	Kategori
4,21 – 5,00	84% – 100%	Sangat Layak
3,41 – 4,20	68% – 84%	Layak
2,61 – 3,40	52% – 68%	Cukup Layak
1,81 – 2,60	36% – 52%	Kurang Layak
1,00 – 1,80	20% – 36%	Tidak Layak

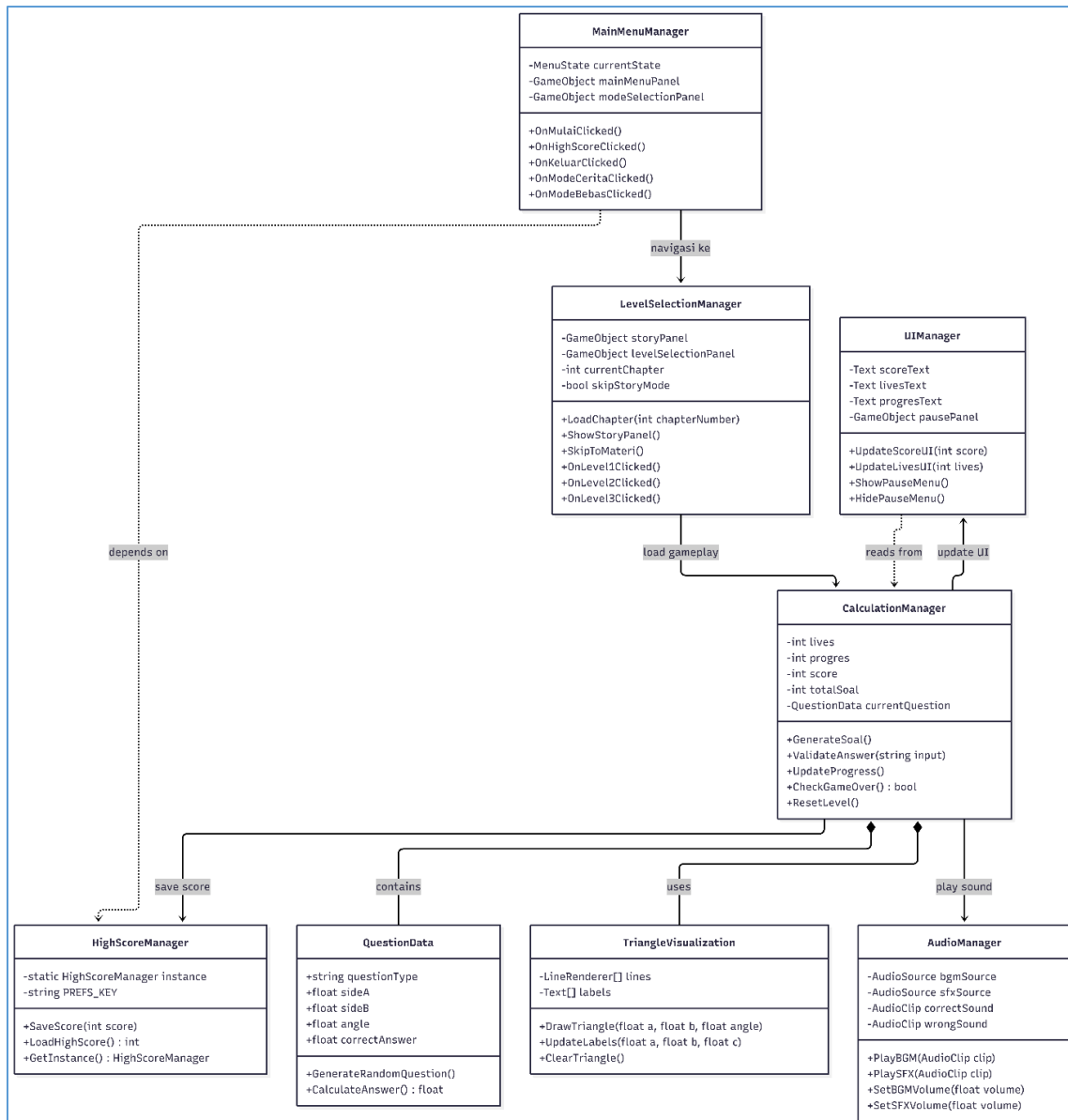
4 Hasil dan Pembahasan (or Results and Analysis)

Realisasi dari tahapan perancangan dalam siklus Agile Scrum menghasilkan cetak biru sistem yang diterjemahkan ke dalam serangkaian artefak desain dan produk akhir perangkat lunak. Tahap awal pengembangan difokuskan pada pemetaan interaksi pengguna melalui Use Case Diagram sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2. Diagram ini merepresentasikan ruang lingkup fungsionalitas sistem, di mana aktor "Siswa" diberikan akses langsung ke fitur-fitur esensial seperti memilih materi, memainkan game berdasarkan level, dan melihat umpan balik skor. Desain interaksi ini sengaja dibuat ramping (streamlined) untuk meminimalkan beban kognitif ekstraneous, sehingga siswa dapat memfokuskan sumber daya mentalnya pada konten pembelajaran inti alih-alih pada navigasi menu yang kompleks [8]. Kesederhanaan alur ini menjadi fondasi bagi pengembangan arsitektur kode program selanjutnya.



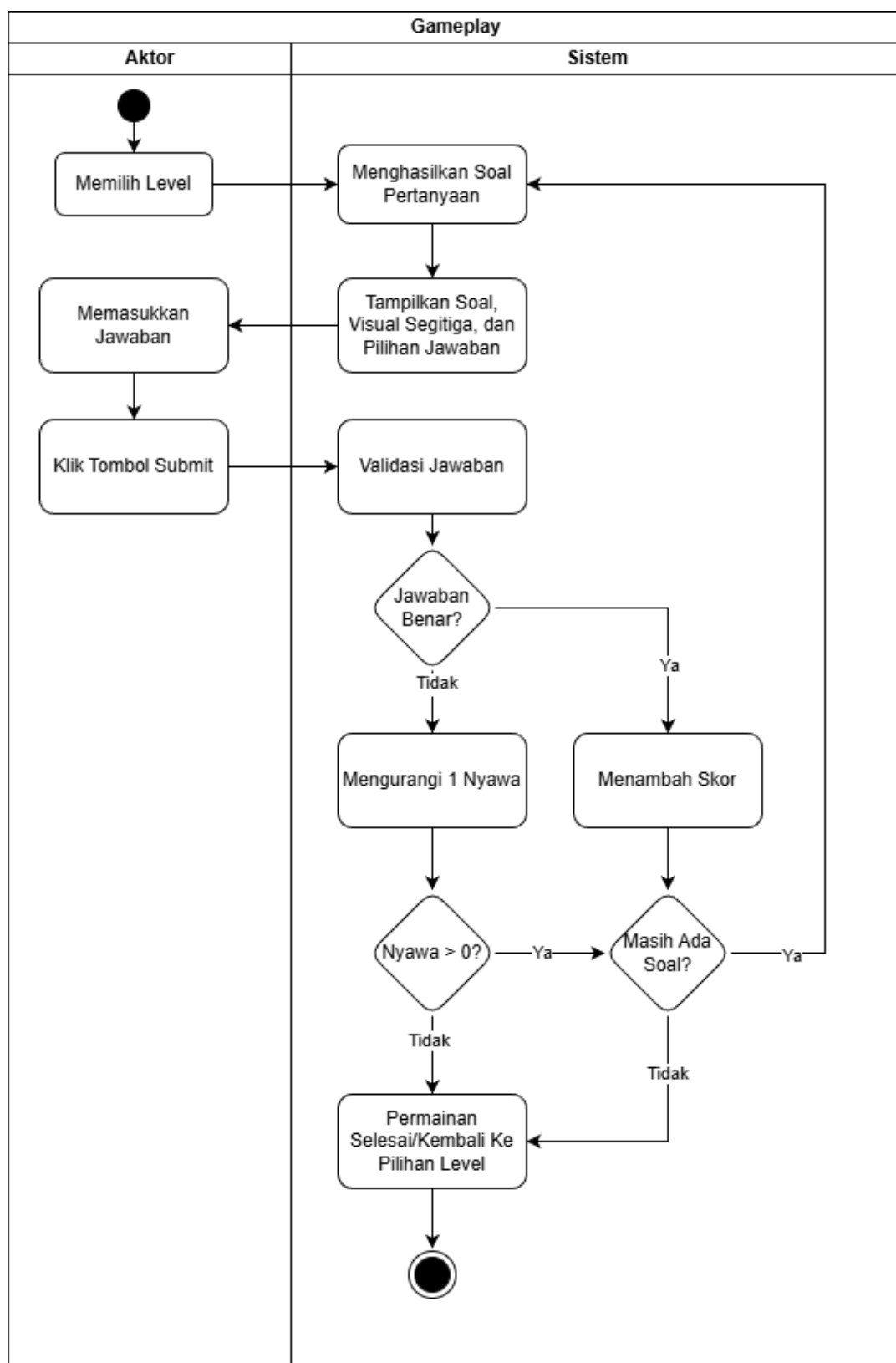
Gambar 2 Use case diagram sistem trigosolver

Untuk mendukung fungsionalitas tersebut secara teknis, struktur internal perangkat lunak dibangun menggunakan paradigma pemrograman berorientasi objek yang dipetakan dalam *Class Diagram* pada Gambar 3. Diagram ini menunjukkan modularitas sistem, di mana tanggung jawab logika permainan didistribusikan ke dalam kelas-kelas spesifik. Kelas *GameManager* bertindak sebagai orkestrator utama yang mengatur sirkulasi *state* permainan (menang/kalah), sementara kelas *TriangleDataGenerator* didedikasikan khusus untuk menangani logika matematis algoritma *Pythagorean Triples*. Pemisahan tanggung jawab (*separation of concerns*) ini memungkinkan sistem untuk membangkitkan soal secara dinamis tanpa mengganggu kinerja antarmuka pengguna, sebuah keunggulan arsitektural yang jarang ditemukan pada aplikasi edukasi berbasis kuis linier [14].



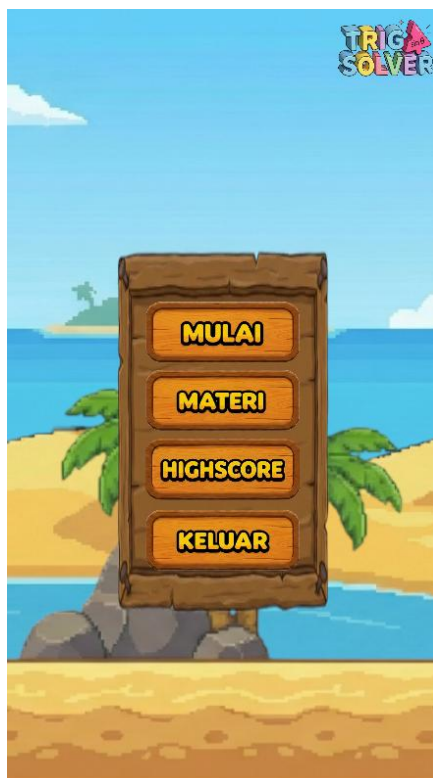
Gambar 3 Class diagram arsitektur sistem

Sebelum memasuki tahap implementasi visual, logika prosedural permainan divalidasi melalui *Activity Diagram* atau *Game Flow* yang ditampilkan pada Gambar 4. Alur ini menggambarkan mekanisme siklus permainan: sistem membangkitkan soal → menunggu input pemain → memvalidasi jawaban → memberikan umpan balik instan. Jika jawaban benar, sistem memberikan gratifikasi berupa skor; jika salah, sistem memberikan penalti berupa pengurangan nyawa. Desain alur ini mengadopsi prinsip *graceful failure* dalam teori *Game-Based Learning*, di mana kegagalan dirancang sebagai bagian dari proses belajar yang aman, mendorong siswa untuk mencoba kembali strategi penyelesaian masalah tanpa rasa takut akan konsekuensi fatal [6].



Gambar 4 Diagram aktivitas alur logika permainan

Hasil implementasi visual dari rancangan logika tersebut adalah aplikasi berbasis Android yang dibangun di atas *Unity Engine*. Tampilan antarmuka menu utama pada Gambar 5 dirancang dengan pendekatan minimalis dan warna cerah untuk menciptakan kesan ramah bagi pengguna usia sekolah. Navigasi dibuat intuitif dengan tombol berukuran besar untuk mengakomodasi interaksi layar sentuh, memastikan aksesibilitas yang baik bagi pengguna perangkat *mobile*.



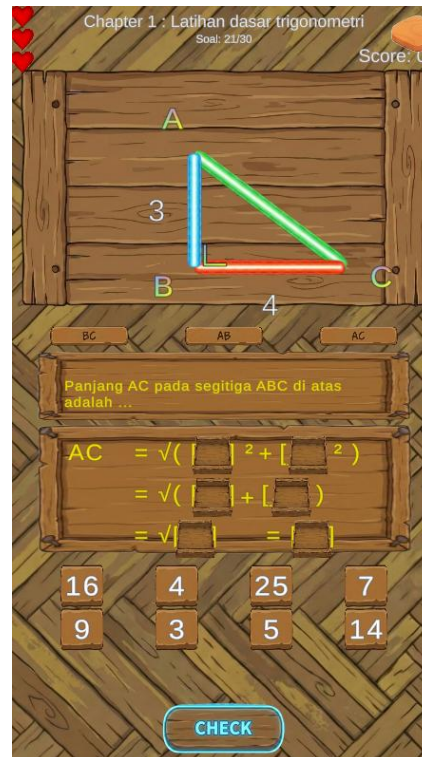
Gambar 5 Implementasi antarmuka menu utama

Inti dari inovasi penelitian ini terletak pada antarmuka *gameplay* yang menyajikan visualisasi materi trigonometri. Gambar 6 dan Gambar 7 memperlihatkan implementasi visualisasi pada level permainan Pythagoras. Pada Gambar 6, sistem menampilkan segitiga siku-siku yang sisi-sisinya dikodekan dengan warna spesifik: merah untuk sisi depan/bawah, hijau untuk sisi samping/tegak, dan biru untuk sisi miring. Penerapan prinsip *Signaling* dari teori multimedia Mayer ini bertujuan membantu siswa membedakan elemen-elemen segitiga secara visual, mengurangi ambiguitas yang sering muncul pada gambar hitam-putih di buku teks [12].



Gambar 6 Tampilan gameplay

Lebih lanjut, Gambar 7 menunjukkan respons sistem ketika terjadi perubahan level atau rotasi objek. Sistem secara otomatis memperbarui label dan warna sisi sesuai dengan posisi sudut referensi (θ) yang baru. Keberhasilan implementasi visualisasi dinamis ini merupakan temuan krusial penelitian. Hal ini membuktikan bahwa *Unity Engine* mampu menangani transformasi matriks 2D secara *real-time* pada perangkat *mobile*, memberikan solusi konkret atas masalah miskonsepsi spasial siswa yang sering gagal mengidentifikasi sisi segitiga saat orientasi gambar diubah [4], [5]. Selain itu, integrasi algoritma *Pythagorean Triples* dalam kelas *TriangleDataGenerator* memastikan bahwa angka-angka yang muncul pada sisi segitiga selalu berupa bilangan bulat, menghindarkan siswa dari distraksi bilangan desimal [13].



Gambar 7. Tampilan gameplay 2

Validasi terhadap kualitas sistem dilakukan melalui pengujian *Black Box* untuk memastikan kesesuaian fungsionalitas. Hasil rekapitulasi pengujian pada Tabel 3 menunjukkan bahwa seluruh fitur utama berjalan sesuai skenario. Secara spesifik, fitur validasi jawaban pecahan otomatis berjalan akurat, membuktikan bahwa logika algoritma yang dirancang pada *Class Diagram* telah terimplementasi dengan benar.

Tabel 3 Hasil pengujian fungsionalitas (black box)

Fitur	Skenario Uji	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian
Generasi Soal	Memulai level	Angka sisi segitiga muncul valid (Triple Pythagoras).	Sesuai
Input Jawaban	Tap tombol angka	Angka terinput ke slot jawaban aktif	Sesuai
Validasi Logika	Input jawaban benar	Skor bertambah (+10), audio "Benar" berbunyi	Sesuai
Sistem Nyawa	Input jawaban salah.	Nyawa berkurang (-1), audio "Salah" berbunyi.	Sesuai

Validasi fungsional melalui Black Box Testing kemudian dilengkapi dengan User Acceptance Test (UAT) untuk menilai sejauh mana sistem diterima oleh pengguna. Pengujian terhadap kelompok expert user (tujuh orang mahasiswa dan alumni Pendidikan Matematika) menggunakan 10 indikator menghasilkan skor total 289 dari skor maksimal ideal 350, atau persentase kelayakan sebesar 82,57%. Berdasarkan kriteria pada Tabel 2, nilai ini termasuk kategori “Layak” untuk diimplementasikan sebagai media pembelajaran. Rincian skor rata-rata tiap indikator disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Rekapitulasi hasil UAT kelompok expert user (n = 7)

No	Indikator Penilaian	Rata-rata Skor (1–5)
1	Tampilan antarmuka (warna, font, ikon) menarik dan estetik	4,00
2	Navigasi antarmenu konsisten dan tidak membingungkan	3,71
3	Kinerja/respon aplikasi cepat, stabil, dan tidak lag	4,14
4	Kesesuaian materi trigonometri dengan kurikulum yang berlaku	4,43
5	Penjelasan konsep melalui visualisasi dinamis mudah dipahami	4,00
6	Soal latihan mencakup variasi tingkat kesulitan yang tepat	4,00
7	Berpotensi meningkatkan motivasi belajar siswa	4,43
8	Mampu meningkatkan motivasi belajar mandiri	4,43
9	Elemen permainan (poin/level) efektif sebagai umpan balik	4,14
10	Secara keseluruhan layak digunakan sebagai media bantu ajar	4,00
	Rata-rata keseluruhan	4,13

Analisis terhadap Tabel 4 menunjukkan bahwa skor tertinggi diperoleh secara bersama pada indikator kesesuaian materi dengan kurikulum, potensi peningkatan motivasi belajar siswa, dan peningkatan motivasi belajar mandiri (masing-masing 4,43). Hal ini mengindikasikan bahwa tujuan pedagogis utama media—menyajikan materi yang relevan dan meningkatkan motivasi—telah tercapai dengan baik di mata para ahli. Sebaliknya, skor terendah berada pada indikator konsistensi navigasi (3,71), yang menjadi sinyal bahwa aspek antarmuka masih memerlukan penyempurnaan. Untuk memastikan konsistensi internal instrumen, dilakukan uji reliabilitas dengan koefisien Cronbach's Alpha yang menghasilkan nilai 0,922; nilai ini berada pada kategori sangat tinggi ($\alpha > 0,90$) sehingga instrumen evaluasi dinyatakan reliabel [23]. Temuan ini sejalan dengan klaim Game-Based Learning bahwa sistem penghargaan dan umpan balik mampu memicu motivasi intrinsik [6], [7], sekaligus memvalidasi penerapan prinsip Signaling teori multimedia Mayer [12] pada visualisasi segitiga berwarna yang dinilai mudah dipahami (4,00).

Selain penilaian kuantitatif, observasi pada sesi demonstrasi kepada ahli dan pengujian iteratif selama pengembangan menghasilkan beberapa catatan kualitatif terhadap rancangan. Pada aspek usability, mekanisme input tap-to-fill dinilai lebih intuitif dan cepat dibandingkan pengetikan manual pada papan ketik virtual. Pada aspek pemahaman materi, fitur visualisasi segitiga dinamis dengan kode warna dinilai membantu membedakan posisi sisi “Depan”, “Samping”, dan “Miring” dibandingkan gambar statis pada buku teks. Pada aspek engagement, sistem nyawa dan papan skor tertinggi (highscore) berpotensi mendorong ketelitian dan pengulangan permainan (replayability).

Apabila dikaitkan dengan penelitian terdahulu yang menjadi justifikasi pada bagian pendahuluan, hasil UAT ini memperkuat sekaligus melengkapi temuan sebelumnya. Penerimaan yang baik pada aspek motivasi menguatkan temuan Yu et al. [15] mengenai dampak positif game terhadap motivasi belajar, sementara kemampuan Trigosolver menghasilkan soal bilangan bulat secara dinamis menjawab keterbatasan bank soal statis pada media kuis seperti yang dilaporkan Yuniani et al. [14]. Dengan demikian, kebaruan berupa integrasi Procedural Content Generation tidak hanya valid secara teknis (Black Box) tetapi juga dinilai layak oleh para ahli, meskipun masih menyisakan ruang perbaikan pada aspek antarmuka yang umum ditemui pada prototipe tahap awal. Temuan kelayakan ini juga konsisten dengan studi pengembangan game edukasi matematika berbasis Unity terkini yang melaporkan tingkat kelayakan dan minat belajar yang baik [21].

Analisis keseluruhan menunjukkan bahwa penelitian ini memiliki keunggulan kompetitif dibandingkan studi terdahulu. Berbeda dengan penelitian [14] yang menggunakan bank soal statis pada platform kuis web, sistem "Trigosolver" menawarkan variabilitas soal tak terbatas berkat

algoritma *Procedural Content Generation*. Fleksibilitas ini mencegah siswa menghafal jawaban dan mendorong pemahaman konsep yang lebih dalam. Selain itu, jika dibandingkan dengan aplikasi desktop pada penelitian [15], aplikasi ini menawarkan aksesibilitas lebih luas karena berjalan optimal pada perangkat *mobile* Android dengan spesifikasi menengah. Temuan ini menegaskan bahwa integrasi metode *Agile* dan teknologi *game engine* efektif menghasilkan media pembelajaran yang valid secara teknis serta berdampak positif terhadap motivasi belajar siswa.

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini berhasil merancang, membangun, dan mengevaluasi game edukasi “Trigosolver” sebagai media pembelajaran interaktif materi trigonometri menggunakan Unity Engine. Penerapan metode pengembangan Agile Scrum terbukti efektif dalam mengakomodasi kebutuhan pengembangan yang dinamis, memungkinkan validasi fitur secara iteratif sehingga produk akhir selaras dengan tujuan pedagogis. Fitur unggulan sistem, yakni integrasi algoritma *Procedural Content Generation* berbasis rumus Pythagorean Triples, berhasil mengatasi keterbatasan variasi soal pada media konvensional dengan menyajikan soal latihan yang valid secara matematis (bilangan bulat) dan bervariasi. Berdasarkan pengujian Black Box, seluruh fungsi logika permainan berjalan valid tanpa kesalahan. Hasil User Acceptance Test (UAT) terhadap kelompok ahli materi dan media ($n = 7$) memperoleh persentase kelayakan 82,57% dengan kategori “Layak” dan reliabilitas instrumen yang sangat tinggi (Cronbach’s Alpha = 0,922). Analisis UAT menunjukkan bahwa indikator motivasi dan kesesuaian materi memperoleh penilaian tertinggi, sementara aspek navigasi dan antarmuka menjadi prioritas perbaikan berdasarkan umpan balik para ahli. Dengan demikian, Trigosolver dinyatakan layak digunakan sebagai media pembelajaran alternatif yang membantu memvisualisasikan konsep abstrak trigonometri dan meningkatkan motivasi belajar. Penelitian ini merupakan evaluasi formatif dengan jumlah responden terbatas dan analisis deskriptif kuantitatif, sehingga temuannya belum dapat digeneralisasi secara luas. Penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk memperluas cakupan materi trigonometri lanjutan, melaksanakan uji coba lapangan terhadap siswa sebagai pengguna akhir dengan jumlah responden yang lebih besar dan uji statistik inferensial, serta mengintegrasikan fitur daring.

Referensi

- [1] M. W. Prastiwi, I. Mustafiah, A. A. Jalaludin, G. D. Prawesti, and B. D. Lukitoaji, “Reformasi Pendidikan Indonesia sebagai Upaya Penerapan Transformasi Digital Pendidikan di Era Globalisasi,” *Anak Sekolah Dasar*, Vol. 1, No. 1, pp. 1–15, 2025.
- [2] M. Nashrullah, S. Rahman, A. Majid, and N. Hariyati, “Transformasi Digital dalam Pendidikan Indonesia: Analisis Kebijakan dan Implikasinya Terhadap Kualitas Pembelajaran,” *Mudir: Jurnal Manajemen Pendidikan*, Vol. 5, No. 1, pp. 120–135, 2023.
- [3] A. Setyawati and N. Ratu, “Analisis Kesulitan Belajar Matematika Siswa SMP pada Materi Aljabar ditinjau dari *Mathematics Anxiety*,” *Jurnal Cendekia: Jurnal Pendidikan Matematika*, Vol. 5, No. 3, pp. 2941–2953, 2021.
- [4] H. P. Nanmumpuni and H. Retnawati, “*Analysis of Senior High School Student’s Difficulty in Resolving Trigonometry Conceptual Problems*,” *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1776, No. 1, p. 012012, 2021.
- [5] J. Arhin and E. K. Hikor, “*Analysis of High School Students’ Errors in Solving Trigonometry Problems*,” *Journal of Mathematics and Science Teacher*, Vol. 1, No. 1, p. em003, 2021.
- [6] P. Vankuš, “*Influence of Game-based Learning in Mathematics Education on Students’ Affective Domain: A Systematic Review*,” *Mathematics*, Vol. 9, No. 9, p. 932, 2021.
- [7] O. Vitvitskaya, J. A. Suvo-Vega, M. E. Meneses-La-Riva, and V. H. Fernández-Bedoya, “*Behaviours and Characteristics of Digital Natives Throughout the Teaching-Learning Process*,” *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, Vol. 11, No. 3, pp. 38–49, 2022.
- [8] R. E. Mayer, *Multimedia Learning*, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- [9] F. Hussain, A. Hussain, H. Shakeel, N. Uddin, and T. L. Ghouri, “*Unity Game Development Engine: A Technical Survey*,” *University of Sindh Journal of Information and Communication Technology*, Vol. 4, No. 2, pp. 77–81, 2020.

- [10] R. Aurisch, M. Ahmed, and A. Barkat, "An Outlook at Agile Methodologies for the Independent Games Developer," *International Journal of Computers and Applications*, Vol. 43, No. 8, pp. 812–818, 2021.
- [11] K. Schwaber and J. Sutherland, *The Scrum Guide*. Scrum.org, 2020. [Online]. Available: <https://scrumguides.org/scrum-guide.html>
- [12] H. Zeng, S.-N. Zhou, G.-R. Hong, Q. Li, and S.-Q. Xu, "Evaluation of Interactive Game-based Learning in Physics Domain," *Journal of Baltic Science Education*, Vol. 19, No. 3, pp. 484–498, 2020.
- [13] K. H. Rosen, *Discrete Mathematics and Its Applications*, 7th ed. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [14] N. K. D. Yuniani, O. Rahmaputri, H. Rohyani, and A. Arjudin, "Penerapan Media Megasiz (Media Game Edukasi Quizizz) untuk meningkatkan Hasil Belajar Matematika," *Journal of Science Instruction and Technology*, Vol. 3, No. 2, pp. 146–152, 2023.
- [15] Z. Yu, M. Gao, and L. Wang, "The Effect of Educational Games on Learning Outcomes, Student Motivation, Engagement and Satisfaction," *Journal of Educational Computing Research*, Vol. 59, No. 3, pp. 522–546, 2021.
- [16] R. S. Pressman and B. R. Maxim, *Software Engineering: A Practitioner's Approach*, 9th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2020.
- [17] S. Arikunto, *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta, 2019.
- [18] International Organization for Standardization, *ISO/IEC 25010:2011 Systems and Software Engineering — Systems and Software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and Software Quality Models*. Geneva: ISO, 2011.
- [19] F. D. Davis, "Perceived Usefulness, Perceived Ease of use, and User Acceptance of Information Technology," *MIS Quarterly*, Vol. 13, No. 3, pp. 319–340, 1989.
- [20] E. Smeets and T. Mooij, "Pupil-Centred Learning, ICT, and Teacher Behaviour: Observations in Educational Practice," *British Journal of Educational Technology*, Vol. 32, No. 4, pp. 403–417, 2001.
- [21] B. C. R. Bustaren, Wahyudin, A. Hasanah, and N. S. Putri, "Pengembangan dan Evaluasi Game Edukasi berbasis Android dengan Unity 3D untuk meningkatkan Pemahaman Konsep Persamaan Linear Satu Variabel," *AdMathEduSt: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Matematika*, Vol. 11, No. 3, pp. 131–143, 2024.
- [22] H. S. Jung, H. Lee, and K. C. Park, "Analysis of UX Elements in Educational Applications for Young Children and Implementation of ISO/IEC 25010 Quality Standards," *SAGE Open*, Vol. 15, No. 3, 2025.
- [23] L. J. Cronbach, "Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests," *Psychometrika*, Vol. 16, No. 3, pp. 297–334, 1951.