JURNAL MEDIA INFORMATIKA [JUMIN]
Volume 7 Nomor 2 April 2026, Page 173-183
ISSN 2808-005X (media online)
Available Online at http://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/jumin

Pengembangan Game Edukasi 3D Interaktif sebagai Media Pembelajaran Menggunakan Algoritma Fisher-Yates

Rista Ifanka[1], Alvian Kharizun Najib[2], Lucky Stiawan[3], Darmawan Aditama[4]

[1,2,3,4] Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Gresik, Jalan Sumatera No 101 GKB, Gresik

Email: [1]ristaifff@gmail.com, [2]alviankharizun@gmail.com, [3]luckystia33@gmail.com, [4] aditama@pens.ac.id
Email Penulis Korespondensi: [1]ristaifff@gmail.com

Abstrak− Perkembangan teknologi digital telah mendorong transformasi metode pembelajaran melalui pemanfaatan pendekatan game-based learning. Meskipun demikian, banyak permainan edukatif yang masih menerapkan penyajian soal secara tetap, sehingga proses belajar cenderung berorientasi pada penghafalan urutan pertanyaan, bukan pada pemahaman konsep. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan game edukasi tiga dimensi interaktif berbasis Unity yang mengombinasikan eksplorasi lingkungan virtual, interaksi dialog dengan non-player character (NPC), serta sistem evaluasi pembelajaran berupa lima soal kuis MCQ dan lima soal evaluasi akhir (final question) yang diacak menggunakan algoritma Fisher–Yates. Pengembangan aplikasi dilakukan dengan menggunakan metode Multimedia Development Life Cycle (MLDC) yang mencakup enam tahapan, yaitu concept, design, material collecting, assembly, testing, dan distribution. Pengujian fungsional dilaksanakan melalui pendekatan black-box testing dan menunjukkan bahwa seluruh fungsi sistem berjalan sesuai dengan spesifikasi yang dirancang. Evaluasi pedagogis melibatkan 35 peserta didik melalui pelaksanaan pre-test dan post-test. Hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan pemahaman materi dengan rata-rata sebesar 23% yang mencakup aspek pemahaman konsep, penguasaan materi, dan daya ingat. Selain itu, tingkat motivasi belajar peserta didik mencapai 86%, tingkat kebermanfaatan aplikasi sebesar 91%, serta tingkat keberhasilan penggunaan aplikasi mencapai 89%.Penerapan algoritma Fisher–Yates terbukti mampu menghasilkan pengacakan soal yang tidak prediktif sehingga mendorong peserta didik untuk lebih berfokus pada pemahaman materi. Temuan penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan media pembelajaran interaktif yang lebih variatif dan adaptif, serta dapat dijadikan landasan bagi penelitian selanjutnya dalam pengembangan evaluasi berbasis tingkat kesulitan dinamis, perluasan konten pembelajaran, dan integrasi teknologi pembelajaran imersif.

Kata kunci: Game Edukasi, Pembelajaran Interaktif, Algoritma Fisher-Yates, Unity 3D, MLDC

Abstract− The advancement of digital technology has driven a transformation in learning methodologies through the adoption of game-based learning approaches. However, many educational games still employ fixed question sequences, causing learning activities to emphasize memorization rather than conceptual understanding. This study aims to design and implement an interactive three-dimensional educational game based on the Unity platform that integrates virtual environment exploration, dialog-based interaction with non-player characters (NPCs), and a learning evaluation system consisting of five multiple-choice quiz questions and five final evaluation questions, randomized using the Fisher–Yates algorithm. The application was developed using the Multimedia Development Life Cycle (MLDC) method, which comprises six stages: concept, design, material collecting, assembly, testing, and distribution. Functional testing was conducted using a black-box testing approach and demonstrated that all system functionalities operated in accordance with the defined specifications. Pedagogical evaluation involved 35 students through the administration of pre-tests and post-tests. The results indicated an average improvement in learning comprehension of 23%, encompassing conceptual understanding, mastery of learning material, and retention. In addition, students' learning motivation reached 86%, the perceived usefulness of the application was 91%, and the overall success rate of the application achieved 89%.The implementation of the Fisher–Yates algorithm was shown to effectively generate non-predictable question sequences, thereby encouraging learners to focus more on understanding the learning material. The findings of this study contribute to the development of more adaptive and varied interactive learning media and may serve as a foundation for future research focusing on dynamic difficulty-based evaluation systems, expanded learning content, and the integration of immersive learning technologies.

Keywords: Educational Game, Interactive Learning, Fisher-Yates Algorithm, Unity 3D, MLDC

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi digital selama kira-kira dua puluh tahun terakhir telah mengubah secara signifikan bagaimana manusia memperoleh, menafsirkan, dan memproses berbagai bentuk informasi. Salah satu teknologi yang mengalami pertumbuhan paling signifikan adalah game engine modern seperti Unity, yang memungkinkan pengembang untuk menciptakan lingkungan virtual interaktif dengan kualitas visual dan mekanisme permainan yang semakin realistis. Dalam konteks pendidikan, teknologi ini menjadi fondasi munculnya pendekatan game-based learning, yaitu metode pembelajaran yang memadukan unsur permainan untuk meningkatkan efektivitas dan pengalaman belajar. Berbagai studi menunjukkan bahwa permainan edukatif mampu menghadirkan lingkungan belajar yang lebih menarik, meningkatkan motivasi intrinsik, serta memberikan pengalaman belajar berbasis eksplorasi yang tidak dapat dicapai oleh metode konvensional [1]. Namun, mayoritas pengembangan game edukasi sebelumnya masih mengandalkan pola

This is an open access article under the CC–BY-SA license

Terakreditasi SINTA 5 SK :72/E/KPT/2024
Submitted: **23/11/2025**; Accepted: **27/12/2025**; Published: **02/04/2026**

JURNAL MEDIA INFORMATIKA [JUMIN]
Volume 7 Nomor 2 April 2026, Page 173-183
ISSN 2808-005X (media online)
Available Online at http://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/jumin

tanya-jawab statis, di mana urutan soal dan pilihan jawaban selalu muncul dalam pola yang sama setiap kali permainan dijalankan. Pendekatan ini menimbulkan dua persoalan utama. Pertama, pemain dapat menghafal pola munculnya soal

tanpa benar-benar memahami materi. Kedua, kurangnya variasi membuat permainan kehilangan daya tarik apabila dimainkan berulang kali, padahal repetisi merupakan bagian penting dari proses belajar. Selain itu, beberapa penelitian lain memang telah menggabungkan permainan dengan narasi, namun masih terbatas dalam bentuk linear tanpa interaksi

langsung antara peserta didik dan karakter non-pemain (non-player character / NPC) [2]. Dialog sebagai bagian dari alur naratif sering kali hanya berupa teks statis atau kutipan sederhana, tanpa adanya mekanisme interaktif yang memberikan alur belajar yang lebih alami.

Kajian-kajian sebelumnya memperlihatkan bahwa masih terdapat kesenjangan konseptual dan teknis dalam pengembangan game edukasi tiga dimensi. Di samping itu, penyajian soal dengan pola statis memperlihatkan bahwa belum banyak penelitian yang mengadopsi metode pengacakan berbasis algoritma yang terbukti efektif dan tidak bias. Padahal, pengacakan atau randomization merupakan elemen penting untuk menjamin variasi dan tingkat tantangan yang konsisten antara satu sesi permainan dengan sesi lainnya. Sebagai upaya untuk menjawab celah tersebut, penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sebuah game edukasi 3D berbasis Unity yang mengintegrasikan tiga komponen utama: eksplorasi lingkungan virtual, dialog interaktif dengan NPC, dan sistem multiple-choice question (MCQ) yang diacak menggunakan algoritma Fisher–Yates shuffle. Algoritma ini dikenal sebagai metode pengacakan yang menghasilkan distribusi uniform tanpa bias, dengan waktu komputasi yang efisien dan stabil untuk berbagai ukuran kumpulan data [3]. Penerapan algoritma tersebut di dalam game edukasi bertujuan untuk mengurangi prediktabilitas urutan soal, sehingga pengguna tidak sekadar mengingat urutan soal, melainkan terdorong untuk menguasai materi secara lebih mendalam. Integrasi ini sekaligus menjadi kontribusi penting terhadap state of the art, karena belum banyak penelitian game-based learning yang memadukan mekanika eksplorasi 3D, dan sistem kuis adaptif secara bersamaan.

Berdasarkan kondisi tersebut, dapat ditegaskan bahwa masih terdapat celah penelitian dalam pengembangan game edukasi tiga dimensi, khususnya pada aspek integrasi antara interaksi eksploratif dalam lingkungan virtual, dialog non-player character (NPC) yang bersifat kontekstual, serta sistem evaluasi pembelajaran yang dirancang secara sistematis dengan algoritma pengacakan soal. Sebagian besar penelitian terdahulu cenderung memfokuskan pengembangan pada aspek visual atau mekanika permainan semata, sementara mekanisme evaluasi pembelajaran belum sepenuhnya dirancang untuk mencegah prediktabilitas urutan soal dan mendorong pemahaman konsep secara mendalam. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada perancangan dan pengembangan game edukasi 3D interaktif berbasis Unity yang mengintegrasikan eksplorasi lingkungan virtual, dialog interaktif dengan NPC sebagai media penyampaian materi, serta sistem kuis berbasis multiple-choice question yang diacak menggunakan algoritma Fisher–Yates guna menghasilkan distribusi soal yang tidak bias. Dalam konteks tersebut, rumusan masalah penelitian ini diarahkan pada bagaimana merancang dan mengimplementasikan game edukasi 3D berbasis Unity dengan sistem kuis teracak menggunakan algoritma Fisher–Yates, serta bagaimana pengaruh penerapannya terhadap pemahaman materi, motivasi belajar, dan kualitas proses pembelajaran peserta didik. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana penerapan algoritma Fisher–Yates dalam sistem kuis mampu meningkatkan pemahaman materi, motivasi belajar, dan kualitas proses pembelajaran peserta didik, sehingga game edukasi yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai media hiburan, tetapi juga sebagai sarana pembelajaran yang efektif dan terstruktur.

Selain aspek inovatif pada sisi teknis, penelitian ini juga menerapkan metodologi Multimedia Development Life Cycle (MLDC) sebagai pendekatan utama dalam pengembangan sistem. MLDC merupakan kerangka kerja yang terdiri dari enam tahap berurutan Concept, Design, Material Collecting, Assembly, Testing, dan Distributionyang dirancang untuk memastikan bahwa setiap proses pengembangan berlangsung secara sistematis dan terkontrol. Melalui penerapan metode ini, alur kerja dapat dirumuskan dengan jelas sejak tahap konseptual, sehingga pengembang mampu menentukan tujuan, merancang struktur permainan, serta mengidentifikasi kebutuhan teknis maupun pedagogis secara lebih tepat [4]. Pendekatan ini juga memberikan kejelasan dalam proses pengumpulan material dan integrasi aset selama tahap perakitan, karena setiap komponen yang direncanakan pada tahap desain dapat diterjemahkan secara langsung ke dalam implementasi pada tahap assembly. Selama proses tersebut, MLDC memungkinkan dilakukannya evaluasi berulang melalui tahap Testing, sehingga setiap fungsi yang dikembangkan dapat diuji, diperbaiki, dan disempurnakan sebelum permainan didistribusikan kepada pengguna. Tahap Distribution pada akhirnya memastikan bahwa produk yang dikembangkan telah melalui proses evaluasi yang memadai dan siap diimplementasikan dalam konteks pembelajaran yang sesungguhnya. Dalam konteks pendidikan digital, integrasi antara eksplorasi tiga dimensi, dialog interaktif, dan evaluasi berbasis pengacakan membuka kemungkinan terciptanya ruang belajar yang lebih fleksibel dan dapat menyesuaikan diri dengan kebutuhan individu. Dengan demikian, pembelajaran tidak terjadi secara terpisah melainkan berjalan secara terpadu dalam satu alur permainan. Pendekatan tersebut sejalan dengan pandangan konstruktivisme, yang menyatakan bahwa pemahaman terbentuk melalui keterlibatan aktif peserta didik dalam berinteraksi dengan lingkungannya. [5]. Sistem kuis yang diacak juga memberikan manfaat pedagogis, karena mendorong peserta didik memproses materi secara mendalam alih-alih mengandalkan ingatan terhadap posisi soal. Dengan demikian, penelitian ini tidak semata menitikberatkan pada aspek teknis pengembangan, tetapi juga diarahkan

This is an open access article under the CC–BY-SA license

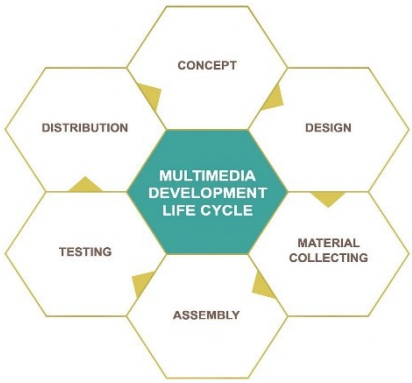
Terakreditasi SINTA 5 SK :72/E/KPT/2024
Submitted: **23/11/2025**; Accepted: **27/12/2025**; Published: **02/04/2026**

JURNAL MEDIA INFORMATIKA [JUMIN]
Volume 7 Nomor 2 April 2026, Page 173-183
ISSN 2808-005X (media online)
Available Online at http://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/jumin

untuk memberikan sumbangan baru dalam pengembangan media pembelajaran interaktif yang lebih efektif dalam pengembangan media pembelajaran interaktif, sekaligus memberikan contoh implementasi yang dapat dijadikan acuan pada penelitian dan pengembangan game-based learning selanjutnya

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan model Multimedia Development Life Cycle (MLDC) sebagai pendekatan pengembangan yang menjadi dasar penyusunan seluruh tahapan pembuatan game edukasi 3D. Model MLDC dipilih karena menyediakan alur kerja yang sistematis, berurutan, dan sesuai untuk pengembangan multimedia interaktif. MLDC terdiri dari enam tahap, yaitu Concept, Design, Material Collecting, Assembly, Testing, dan Distribution. Tahapan-tahapan tersebut digunakan untuk memastikan bahwa proses pengembangan berlangsung secara terstruktur dan menghasilkan produk yang layak digunakan dalam konteks pembelajaran.



Gambar 1. Tahapan MLDC

1. Concept
   Tahap Concept merupakan fondasi awal pengembangan, yang mencakup identifikasi kebutuhan pembelajaran, karakteristik pengguna, jenis media yang akan dibuat, serta tujuan yang ingin dicapai. Tahap konsep juga menghasilkan gambaran umum alur permainan, fitur utama, dan batasan produk.
2. Design
   Tahap Design meliputi proses merumuskan rancangan alur permainan, struktur navigasi, tampilan antarmuka, mekanisme interaksi, dan sistem evaluasi. Pada tahap ini, seluruh elemen visual dan fungsional mulai digambarkan dalam bentuk flowchart, dan rancangan UI.
3. Material Collecting
   Tahap Material Collecting adalah proses pengumpulan seluruh aset yang diperlukan dalam pengembangan game, baik yang diperoleh dari sumber bebas lisensi maupun hasil pembuatan mandiri. Pengumpulan dilakukan dengan mempertimbangkan kesesuaian tema, kualitas visual, dan efisiensi performa agar game dapat berjalan dengan baik pada perangkat yang digunakan siswa sekolah dasar. Seluruh aset ini menjadi bahan utama dalam tahap perakitan proyek.
4. Assembly
   Tahap Assembly merupakan tahap inti di mana seluruh perancangan dan material digabungkan ke dalam Unity untuk membentuk permainan yang fungsional. Pada tahap ini seluruh elemen UI seperti panel dialog, panel kuis, prompt interaksi, menu utama, dan menu pause diintegrasikan dengan logika permainan. Tahap ini menghasilkan prototipe game yang sudah dapat dimainkan dari awal hingga akhir [6].
5. Testing
   Tahap Testing dilakukan untuk memastikan bahwa game berjalan stabil, bebas dari kesalahan fungsi, dan memenuhi tujuan pembelajaran. Selain pengujian teknis, tahap ini juga mencakup prosedur evaluasi pembelajaran dilakukan melalui pemberian pre-test dan post-test guna mengukur sejauh mana peningkatan kompetensi siswa setelah menggunakan media.
6. Distribution
   Tahap Distribution merupakan tahap terakhir, yang berfokus pada penyebaran produk kepada pengguna. Tahap ini juga meliputi penyediaan panduan penggunaan, instruksi teknis, serta dokumentasi agar game dapat dijalankan dengan benar oleh pengguna sekaligus memastikan bahwa produk siap digunakan dalam proses pembelajaran.

This is an open access article under the CC–BY-SA license

Terakreditasi SINTA 5 SK :72/E/KPT/2024
Submitted: **23/11/2025**; Accepted: **27/12/2025**; Published: **02/04/2026**

JURNAL MEDIA INFORMATIKA [JUMIN]
Volume 7 Nomor 2 April 2026, Page 173-183
ISSN 2808-005X (media online)
Available Online at http://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/jumin

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Implementasi Sistem

a. Concept

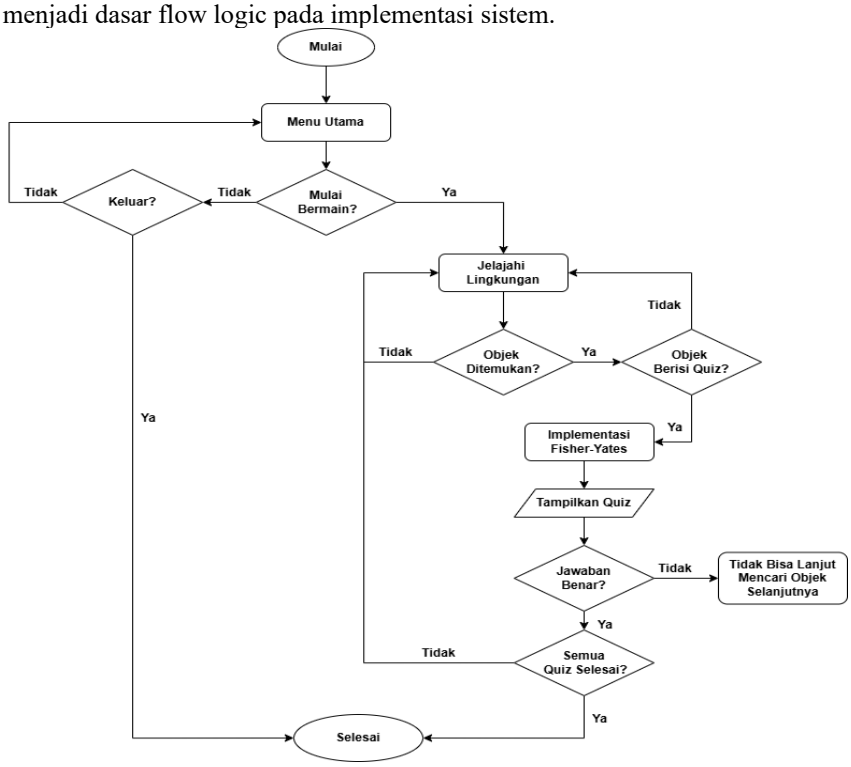
Pada tahap ini ditentukan bahwa permainan menggunakan perspektif first-person dengan lingkungan 3D yang memungkinkan pemain bergerak bebas menggunakan CharacterController. Karakter pemain dapat berjalan, melompat, mengubah arah pandangan, dan menjelajahi area permainan untuk menemukan NPC atau objek interaktif. Pada tahap konseptual juga dirumuskan mekanisme interaksi yang mengharuskan pemain mendekati objek tertentu dan menekan tombol E, sehingga interaksi bersifat aktif dan terarah.

Dalam model permainan ini, dialog NPC berfungsi sebagai sarana instruksi yang disajikan melalui panel UI dengan tampilan teks bertahap. Proses belajar tidak dilakukan secara pasif, tetapi melalui percakapan yang mengarahkan pemain pada aktivitas berikutnya. Setelah dialog berlangsung, pemain akan menghadapi kuis pilihan ganda (MCQ) sebagai bentuk evaluasi. Mekanisme kuis dirancang dengan progression lock, di mana jawaban yang benar menjadi syarat untuk melanjutkan permainan, sedangkan jawaban salah akan menahan progres hingga pemain memilih jawaban yang tepat. Untuk memastikan variasi soal, urutan pertanyaan diacak menggunakan algoritma Fisher–Yates shuffle, sehingga setiap sesi permainan memberikan susunan kuis yang berbeda. Tahap konsep ini kemudian menjadi dasar seluruh pengembangan pada tahap-tahap berikutnya.

b. Design

Tahap Design berfokus pada perancangan sistem permainan dan penyusunan algoritma yang digunakan dalam mekanisme inti game. Pada fase ini, alur permainan disusun dalam bentuk game flow yang menggambarkan hubungan antara eksplorasi, interaksi pemain, dialog NPC, hingga evaluasi dalam kuis. Desain alur tersebut dibuat dalam bentuk diagram alir (flowchart) untuk memudahkan peneliti dalam memvisualisasikan struktur permainan serta memastikan bahwa setiap proses berjalan secara logis dan terintegrasi. Diagram alir ini menjadi acuan utama saat pengembangan dilakukan pada tahap assembly, karena seluruh urutan aktivitas permainan telah dirumuskan dengan jelas sejak fase desain.

Alur permainan dimulai dari pemain memasuki menu utama. Jika pemain memilih untuk memulai permainan, sistem mengarahkan pemain ke lingkungan 3D untuk mengeksplorasi area permainan. Ketika pemain mendekati objek atau NPC tertentu dan menekan tombol E, sistem menampilkan dialog yang berisi informasi atau instruksi. Setelah dialog selesai, pemain diarahkan menuju kuis. Pada tahap ini, sistem menerapkan proses pengacakan soal menggunakan algoritma Fisher–Yates sebelum menampilkan pertanyaan. Apabila pemain menjawab dengan benar, permainan dilanjutkan menuju area berikutnya; tetapi jika jawaban salah, sistem memunculkan notifikasi kesalahan dan meminta pemain mencoba kembali. Alur permainan akan berlanjut hingga seluruh dialog dan kuis terselesaikan. Desain alur game inilah yang menjadi dasar flow logic pada implementasi sistem.



Gambar 2. Flowchart Game Edukasi

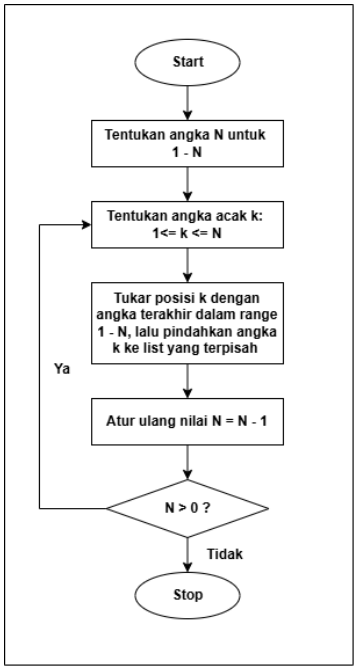
This is an open access article under the CC–BY-SA license

Terakreditasi SINTA 5 SK :72/E/KPT/2024
Submitted: **23/11/2025**; Accepted: **27/12/2025**; Published: **02/04/2026**

JURNAL MEDIA INFORMATIKA [JUMIN]
Volume 7 Nomor 2 April 2026, Page 173-183
ISSN 2808-005X (media online)
Available Online at http://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/jumin

Selain desain sistem, tahap Design juga mencakup perancangan algoritma yang digunakan untuk mendukung mekanisme permainan, salah satunya adalah algoritma Fisher–Yates Shuffle. Algoritma ini dipilih untuk menangani proses pengacakan soal karena memiliki tingkat efisiensi tinggi serta menjamin distribusi hasil acak yang merata. Fisher–Yates Shuffle bekerja dengan menukar elemen-elemen dalam daftar secara acak dari indeks terakhir hingga indeks pertama, sehingga setiap susunan soal yang terbentuk memiliki peluang yang sama untuk muncul. Dalam konteks game edukasi ini, proses pengacakan diterapkan pada kumpulan pertanyaan kuis sebelum ditampilkan kepada pemain. Cara ini memastikan bahwa siswa tidak dapat menghafal urutan soal.

Tahapan algoritma Fisher–Yates melibatkan proses enumerasi daftar soal, pemilihan indeks acak pada setiap iterasi, penukaran posisi elemen, dan pengurangan jumlah elemen yang akan diacak pada langkah selanjutnya. Proses tersebut berlangsung hingga seluruh elemen berpindah ke posisi baru. Pemanfaatan algoritma ini tidak hanya meningkatkan variasi permainan, tetapi juga memperkuat aspek pedagogis karena memaksa pemain mengandalkan pemahaman, bukan pola pengulangan



Gambar 3. Flowchart Algoritma Fisher Yates

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini tidak mengeliminasi angka yang terpilih, melainkan menempatkannya bersama angka-angka yang belum terpilih, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1. Range menunjukkan panjang interval angka yang tersisa, roll merepresentasikan angka yang dipilih secara random, dan Scratch mencerminkan urutan seleksi. Result menampilkan data yang diperoleh.

Tabel 1. Contoh Proses Modern Fisher-Yates Shuffle

Range	Roll	Scratch	Result
		12345678910	
1 – 10	7	1234568910	7
1 – 9	3	124568910	37
1 – 8	8	12456910	837
1 – 7	2	1456910	2837
1 – 6	6	145910	62837
1 – 5	1	45910	162837
1 – 4	4	5910	4162837
1 – 3	10	59	104162837
1 – 2	9	5	9104162837
	Result Obtained :		59104162837

This is an open access article under the CC–BY-SA license

Terakreditasi SINTA 5 SK :72/E/KPT/2024
Submitted: **23/11/2025**; Accepted: **27/12/2025**; Published: **02/04/2026**

JURNAL MEDIA INFORMATIKA [JUMIN]
Volume 7 Nomor 2 April 2026, Page 173-183
ISSN 2808-005X (media online)
Available Online at http://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/jumin

c. Material Collecting

Tahap Material Collecting mencakup pengumpulan seluruh aset yang digunakan dalam game. Aset-aset tersebut terdiri dari model 3D lingkungan, objek dekoratif, karakter NPC, tekstur, ikon UI, serta materi pembelajaran berupa dialog dan soal kuis. Aset dipilih berdasarkan kualitas visual, kesesuaian tema, dan kemampuan untuk diintegrasikan dalam Unity tanpa membebani performa perangkat yang digunakan siswa.

Dialog NPC dan soal kuis dikumpulkan dan disusun ulang untuk memastikan keterpaduan antara materi yang disampaikan dalam dialog dan evaluasi yang muncul pada kuis. Aset UI seperti panel dialog, tombol jawaban kuis, dan tampilan notifikasi dikembangkan agar selaras dengan gaya visual permainan secara keseluruhan. Tahap ini memastikan bahwa seluruh bahan pendukung siap digunakan dalam proses perakitan.

d. Assembly

Tahap Assembly merupakan tahap inti di mana seluruh desain dan material digabungkan ke dalam engine Unity. Pada tahap ini dilakukan implementasi pergerakan pemain dengan skrip PlayerMotor, pengaturan rotasi kamera menggunakan PlayerLook, serta penerapan interaksi berbasis raycast. Sistem raycast memungkinkan pemain berinteraksi dengan objek hanya dengan mengarahkan pandangan dan menekan tombol E, sehingga interaksi menjadi intuitif dan responsif.

Sistem dialog diimplementasikan menggunakan panel UI yang memunculkan teks secara bertahap, sementara kontrol pergerakan dinonaktifkan untuk menjaga fokus. Setelah dialog selesai, sistem kuis diaktifkan dan mengarahkan pemain untuk memilih jawaban. Algoritma Fisher–Yates shuffle diimplementasikan dalam QuestionManager.cs untuk mengacak daftar soal setiap kali permainan dimulai. Semua komponen ini dirakit sehingga permainan dapat berjalan dengan alur yang konsisten dan bebas konflik fungsi.

Proses assembly juga melibatkan penataan seluruh elemen UI seperti panel dialog, panel kuis, prompt interaksi “Press E”, dan menu utama. Integrasi seluruh modul pada tahap ini menghasilkan versi permainan yang dapat dimainkan dari awal hingga akhir sesuai tujuan pembelajaran.



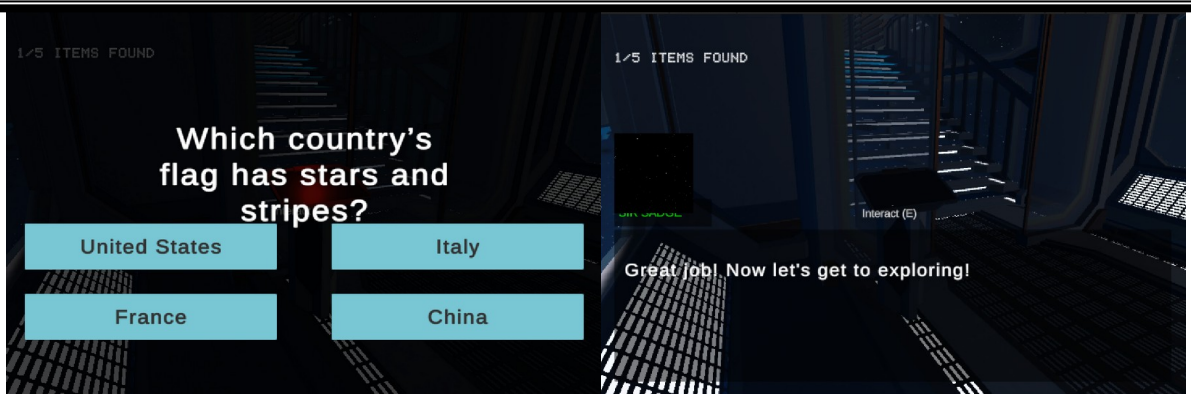
Gambar 4. Interaksi dengan NPC dan Deteksi Objek Kuis dalam Lingkungan Virtual

Pada tahap awal permainan, pemain memasuki lingkungan virtual dan bertemu dengan karakter NPC (Non-Player Character) yang berfungsi sebagai pemandu naratif. NPC memberikan dialog interaktif yang mengantarkan pemain memahami konteks pembelajaran dan tujuan yang harus dicapai dalam permainan. Setelah berinteraksi dengan NPC, pemain melakukan eksplorasi lingkungan untuk menemukan objek-objek yang berisi kuis. Objek-objek ini ditempatkan secara strategis di berbagai lokasi dalam ruang virtual, mendorong pemain untuk aktif menjelajahi setiap sudut lingkungan 3D. Ketika pemain mendekati objek tersebut, sistem akan mendeteksi interaksi dan mempersiapkan tampilan kuis untuk dimunculkan.

This is an open access article under the CC–BY-SA license

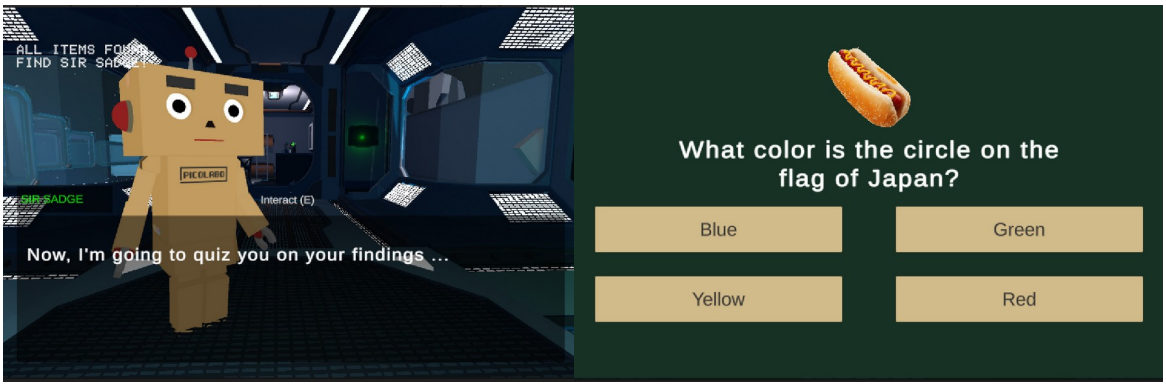
Terakreditasi SINTA 5 SK :72/E/KPT/2024
Submitted: **23/11/2025**; Accepted: **27/12/2025**; Published: **02/04/2026**

JURNAL MEDIA INFORMATIKA [JUMIN]
Volume 7 Nomor 2 April 2026, Page 173-183
ISSN 2808-005X (media online)
Available Online at http://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/jumin



Gambar 5. Sistem Kuis MCQ dan Mekanisme Unlock Progres

Sistem kuis multiple-choice question (MCQ) muncul secara dinamis ketika pemain berinteraksi dengan objek kuis. Soal-soal yang ditampilkan telah diacak menggunakan algoritma Fisher-Yates Shuffle untuk memastikan urutan pertanyaan dan pilihan jawaban tidak dapat diprediksi oleh pemain. Antarmuka kuis dirancang dengan jelas, menampilkan pertanyaan beserta beberapa pilihan jawaban yang harus dipilih oleh pemain. Setelah pemain menyelesaikan kuis dengan benar, sistem akan memberikan feedback visual berupa pembukaan pintu secara otomatis. Mekanisme ini berfungsi sebagai reward dan sekaligus sebagai gerbang progres yang memungkinkan pemain melanjutkan eksplorasi ke area berikutnya dalam permainan, menciptakan alur pembelajaran yang terstruktur dan bertahap.



Gambar 6. Progres Pengumpulan Item dan Tampilan Final Question

Proses pembelajaran berlanjut dengan mengharuskan pemain mengumpulkan seluruh item yang tersebar di berbagai lokasi dalam lingkungan virtual. Setiap item yang berhasil dikumpulkan merepresentasikan penguasaan terhadap satu topik atau konsep pembelajaran tertentu. Sistem permainan melacak progres pengumpulan item secara real-time, dan ketika semua item telah berhasil ditemukan dan kuis terkait telah diselesaikan, pemain akan secara otomatis diarahkan menuju tahap evaluasi akhir. Transisi ini ditandai dengan munculnya final question yang berfungsi sebagai penilaian komprehensif terhadap seluruh materi yang telah dipelajari selama permainan berlangsung. Final question dirancang untuk menguji pemahaman pemain secara menyeluruh, mengintegrasikan berbagai konsep yang telah dipelajari melalui interaksi dengan NPC dan penyelesaian kuis-kuis sebelumnya.



Gambar 7. Progres Pengumpulan Item dan Tampilan Final Question

This is an open access article under the CC–BY-SA license

Terakreditasi SINTA 5 SK :72/E/KPT/2024
Submitted: **23/11/2025**; Accepted: **27/12/2025**; Published: **02/04/2026**

JURNAL MEDIA INFORMATIKA [JUMIN]
Volume 7 Nomor 2 April 2026, Page 173-183
ISSN 2808-005X (media online)
Available Online at http://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/jumin

Layar akhir menampilkan hasil evaluasi lengkap setelah pemain berhasil menyelesaikan semua kuis dan menjawab final question dengan benar. Tampilan ini memberikan feedback komprehensif kepada pemain mengenai pencapaian mereka, menunjukkan bahwa seluruh soal telah dikerjakan dengan jawaban yang tepat. Layar penyelesaian ini menandai akhir dari satu siklus pembelajaran lengkap, di mana pemain telah melalui seluruh proses dari interaksi dengan NPC, eksplorasi lingkungan 3D, penyelesaian kuis terdistribusi, hingga evaluasi akhir.

3.1 Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa game edukasi 3D yang dikembangkan berfungsi sesuai dengan rancangan serta mampu memberikan dampak pembelajaran yang signifikan kepada pengguna. Tahapan pengujian ini merupakan bagian dari langkah Testing dalam Multimedia Development Life Cycle (MLDC), yang mencakup pengujian fungsional, pengujian alur permainan, serta pengujian pedagogis melalui pre-test, post-test, dan angket kepuasan. Seluruh prosedur pengujian dilakukan secara terstruktur untuk memastikan stabilitas sistem dan efektivitas media sebagai sarana belajar interaktif.

Selain bertujuan untuk memverifikasi keberfungsian sistem, pengujian pada penelitian ini juga dimaksudkan untuk melihat posisi dan karakteristik pendekatan yang digunakan dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Pada beberapa penelitian pengembangan game edukasi berbasis Unity, pengujian umumnya difokuskan pada aspek fungsionalitas aplikasi dan kelayakan media pembelajaran, tanpa mengaitkannya secara langsung dengan mekanisme evaluasi pembelajaran yang dirancang untuk mengurangi prediktabilitas soal. Sementara itu, penelitian yang menerapkan algoritma Fisher–Yates lebih banyak digunakan pada konteks pengacakan soal kuis atau sistem ujian berbasis digital, tanpa integrasi eksplorasi lingkungan tiga dimensi dan dialog interaktif dengan non-player character (NPC) sebagai bagian dari alur pembelajaran. Oleh karena itu, pengujian sistem dalam penelitian ini tidak hanya menilai keberhasilan fungsi teknis, tetapi juga menekankan keterpaduan antara eksplorasi lingkungan virtual, interaksi dialog NPC, dan sistem evaluasi berbasis pengacakan soal sebagai satu kesatuan proses pembelajaran.

3.1.1 Pengujian Fungsional

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi apakah semua fitur permainan berjalan sesuai dengan kebutuhan sistem. Pengujian ini menggunakan pendekatan black-box testing, yaitu metode yang hanya memeriksa keluaran berdasarkan masukan pengguna tanpa memeriksa kode program di dalamnya. Setiap fungsi diuji berdasarkan kesesuaiannya dengan rancangan pada tahap Concept, Design, dan Assembly.

This is an open access article under the CC–BY-SA license

Terakreditasi SINTA 5 SK :72/E/KPT/2024
Submitted: **23/11/2025**; Accepted: **27/12/2025**; Published: **02/04/2026**

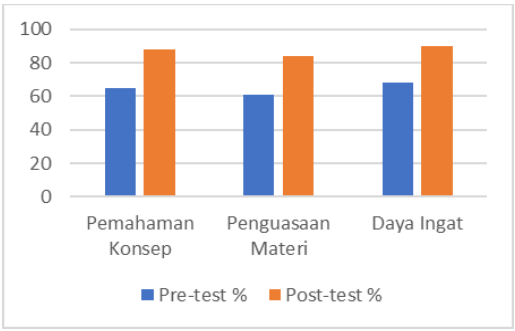
JURNAL MEDIA INFORMATIKA [JUMIN]
Volume 7 Nomor 2 April 2026, Page 173-183
ISSN 2808-005X (media online)
Available Online at http://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/jumin

Tabel 2. Hasil Pengujian Fungsional

Fitur	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
Navigasi & Pergerakan Player	Player bergerak maju, mundur, kanan-kiri, dan rotasi kamera	Semua pergerakan dan rotasi berjalan lancar tanpa keterlambatan	Pergerakan responsif dan stabil	Berhasil
Sistem Interaksi (Raycast)	Pemain mengarahkan pandangan ke objek dan menekan tombol E	Prompt interaksi muncul, objek merespons sesuai script	Prompt tampil dan interaksi aktif	Berhasil
Pemicu Dialog NPC	Pemain menekan tombol E pada NPC	Panel dialog muncul, teks tampil bertahap (typewriter effect)	Dialog muncul sesuai urutan dan typewriter berfungsi	Berhasil
Penguncian Kontrol Saat Dialog	Pemain mencoba bergerak saat dialog berlangsung	Gerakan pemain dinonaktifkan sementara dialog aktif	Pemain tidak dapat bergerak sebelum dialog selesai	Berhasil
Aktivasi Kuis MCQ	Dialog selesai → kuis tampil otomatis	Panel kuis muncul dengan pertanyaan dan opsi jawaban	Kuis tampil dan opsi dapat dipilih	Berhasil
Validasi Kuis – Jawaban Benar	Pemain memilih opsi jawaban benar	Pemain diarahkan ke area atau NPC berikutnya	Transisi ke area berikutnya berjalan normal	Berhasil
Validasi Kuis – Jawaban Salah	Pemain memilih jawaban yang tidak benar	Game tetap menahan progres dan meminta pemain mengulang	Panel kesalahan muncul dan kuis diulang	Berhasil
Pengacakan Soal (Fisher–Yates)	Mengulang kuis beberapa kali	Urutan soal selalu berbeda	Urutan berubah setiap percobaan	Berhasil
Transisi Antar Area	Pemain menyelesaikan kuis	Area berikutnya aktif tanpa error	Transisi halus, tidak terjadi freeze	Berhasil
Stabilitas UI	Mengakses menu pause, resume, quit	Semua tombol dapat diklik dan berfungsi	UI stabil tanpa crash	Berhasil

3.1.2 Pengujian Padagogis

Tahapan evaluasi pedagogis dilaksanakan melalui distribusi instrumen kuesioner kepada responden yang melibatkan 35 siswa sekolah dasar. Kuesioner dibagikan dalam dua fase, yaitu sebelum interaksi dengan aplikasi (pre-test) dan setelah penggunaan aplikasi (post-test). Pengujian ini bertujuan untuk mengukur efektivitas aplikasi game edukasi 3D dalam meningkatkan pemahaman materi pembelajaran, motivasi belajar, efektivitas algoritma Fisher-Yates, serta tingkat kebermanfaatan dan keberhasilan aplikasi.



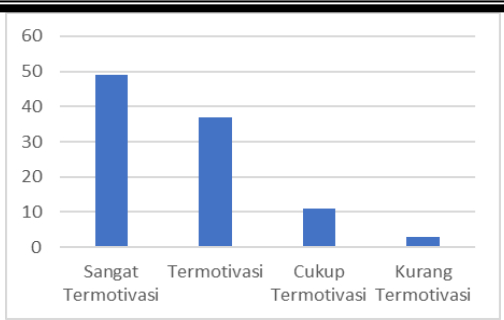
Gambar 8. Peningkatan Pemahaman Pre-test dan Post-test

Berdasarkan Gambar 8, terdapat peningkatan signifikan pada seluruh aspek pembelajaran. Pemahaman konsep meningkat sebesar 23%, penguasaan materi meningkat 23% , dan daya ingat meningkat 22%, Rata-rata peningkatan pemahaman materi mencapai 23% setelah implementasi aplikasi game edukasi 3D dengan algoritma Fisher-Yates. Data ini mengindikasikan bahwa aplikasi berhasil memfasilitasi proses transfer pengetahuan kepada peserta didik secara efektif.

This is an open access article under the CC–BY-SA license

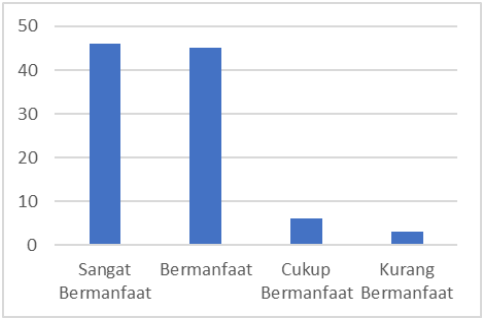
Terakreditasi SINTA 5 SK :72/E/KPT/2024
Submitted: **23/11/2025**; Accepted: **27/12/2025**; Published: **02/04/2026**

JURNAL MEDIA INFORMATIKA [JUMIN]
Volume 7 Nomor 2 April 2026, Page 173-183
ISSN 2808-005X (media online)
Available Online at http://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/jumin



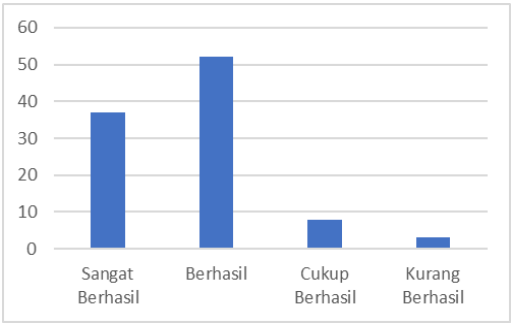
Gambar 9. Tingkat Motivasi Belajar Peserta Didik

Evaluasi terhadap motivasi belajar dilakukan untuk mengukur dampak aplikasi game edukasi 3D terhadap antusiasme peserta didik dalam mengikuti proses pembelajaran. Berdasarkan Gambar 9, distribusi tingkat motivasi menunjukkan hasil yang sangat positif. Sebanyak 49% peserta didik menyatakan sangat termotivasi, 37% termotivasi, 11% cukup termotivasi, dan hanya 3% yang menyatakan kurang termotivasi. Secara kumulatif, 86% peserta didik memberikan respons positif terhadap penggunaan aplikasi game edukasi 3D sebagai media pembelajaran. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan gamifikasi mampu mendorong peningkatan motivasi serta partisipasi aktif peserta didik selama kegiatan belajar.



Gambar 10. Tingkat Kebermanfaatan Game Edukasi

Evaluasi kebermanfaatan aplikasi dilakukan untuk menilai kontribusi aplikasi game edukasi 3D terhadap pencapaian tujuan pembelajaran. Berdasarkan Gambar 10, tingkat kebermanfaatan aplikasi menunjukkan hasil yang sangat memuaskan. Sebanyak 46% responden menilai aplikasi sangat bermanfaat, 45% menilai bermanfaat, 6% menilai cukup bermanfaat, dan hanya 3% yang menilai kurang bermanfaat. Secara keseluruhan, 91% responden memberikan penilaian positif terhadap kebermanfaatan aplikasi dalam mendukung proses pembelajaran. Hasil ini mengindikasikan bahwa aplikasi game edukasi 3D memiliki nilai tambah yang signifikan sebagai media pembelajaran alternatif yang dapat diintegrasikan dalam proses pembelajaran modern.



Gambar 11. Tingkat Keberhasilan Aplikasi

Pengukuran tingkat keberhasilan aplikasi bertujuan untuk mengevaluasi pencapaian objektif pembelajaran yang telah ditetapkan melalui implementasi game edukasi 3D. Gambar 11 menampilkan distribusi tingkat keberhasilan aplikasi berdasarkan persepsi responden. Sebanyak 37% responden menyatakan aplikasi sangat berhasil, 52% menyatakan berhasil, 8% menyatakan cukup berhasil, dan 3% menyatakan kurang berhasil. Secara kumulatif, 89% responden memberikan penilaian positif terhadap keberhasilan aplikasi dalam mencapai tujuan pembelajaran. Data ini menunjukkan bahwa aplikasi game edukasi 3D dengan algoritma Fisher-Yates efektif dalam memfasilitasi proses pembelajaran dan mencapai target yang telah ditetapkan. Berdasarkan seluruh data yang telah dikumpulkan dan dianalisis melalui visualisasi grafik, dapat disimpulkan bahwa implementasi game edukasi 3D memberikan dampak positif yang signifikan terhadap proses pembelajaran.

This is an open access article under the CC–BY-SA license

Terakreditasi SINTA 5 SK :72/E/KPT/2024
Submitted: **23/11/2025**; Accepted: **27/12/2025**; Published: **02/04/2026**

JURNAL MEDIA INFORMATIKA [JUMIN]
Volume 7 Nomor 2 April 2026, Page 173-183
ISSN 2808-005X (media online)
Available Online at http://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/jumin

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan game edukasi 3D interaktif berbasis Unity yang mengintegrasikan eksplorasi lingkungan virtual, dialog interaktif dengan NPC, dan sistem kuis pilihan ganda dengan penerapan algoritma Fisher-Yates untuk pengacakan soal. Pengembangan dilakukan menggunakan metodologi Multimedia Development Life Cycle (MLDC) yang terbukti efektif dalam menyusun proses pengembangan secara sistematis melalui enam tahapan utama. Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa seluruh fitur permainan berfungsi dengan baik dan sesuai dengan rancangan sistem, mencakup navigasi pemain, sistem interaksi berbasis raycast, pemicu dialog NPC, aktivasi kuis, validasi jawaban, pengacakan soal, dan stabilitas antarmuka pengguna.

Pengujian pedagogis yang melibatkan 35 peserta didik dengan menggunakan rangkaian evaluasi awal dan akhir, diperoleh temuan yang menunjukkan peningkatan yang sangat signifikan. Terdapat peningkatan pemahaman materi dengan rata-rata kenaikan sebesar 23% pada aspek pemahaman konsep, penguasaan materi, dan daya ingat. Tingkat motivasi belajar mencapai 86% dengan respons positif dari peserta didik, mengindikasikan bahwa pendekatan gamifikasi berhasil meningkatkan keterlibatan dalam proses pembelajaran. Evaluasi kebermanfaatan aplikasi menunjukkan 91% responden memberikan penilaian positif, sementara tingkat keberhasilan aplikasi mencapai 89% dalam pencapaian tujuan pembelajaran. Implementasi algoritma Fisher-Yates terbukti efektif dalam mengacak urutan soal kuis, sehingga mengurangi prediktabilitas dan mendorong peserta didik memahami materi secara lebih mendalam. Integrasi antara mekanika eksplorasi 3D, dialog naratif, dan sistem evaluasi adaptif menciptakan suasana pembelajaran yang lebih dinamis serta mampu meningkatkan efektivitas pemahaman peserta didik.

Secara khusus, penelitian ini memberikan beberapa kontribusi baru dalam pengembangan media pembelajaran berbasis game-based learning. Penelitian ini mengintegrasikan eksplorasi lingkungan virtual tiga dimensi, dialog interaktif dengan non-player character (NPC), dan sistem evaluasi pembelajaran dalam satu alur permainan yang terpadu. Penerapan algoritma Fisher–Yates tidak hanya dimanfaatkan sebagai mekanisme pengacakan soal, tetapi juga diintegrasikan secara langsung ke dalam sistem kuis pada game edukasi 3D untuk mengurangi prediktabilitas urutan soal. Penelitian ini juga menyajikan pengujian sistem yang mengombinasikan pengujian fungsional dan pengujian pedagogis, sehingga memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai efektivitas game edukasi sebagai media pembelajaran interaktif. Meskipun penelitian ini menunjukkan hasil yang positif, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pengujian pedagogis dilakukan pada jumlah responden yang terbatas dan dalam lingkup materi pembelajaran tertentu, sehingga hasil penelitian belum dapat digeneralisasikan secara luas. Selain itu, sistem kuis yang dikembangkan masih menggunakan tingkat kesulitan soal yang bersifat statis dan belum menyesuaikan secara dinamis dengan kemampuan individu peserta didik.

Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan penambahan fitur adaptif yang menyesuaikan tingkat kesulitan soal berdasarkan performa pemain secara real-time. Implementasi pemanfaatan teknologi VR maupun AR dapat dijadikan alternatif untuk menghadirkan proses pembelajaran yang lebih mendalam dan menyerap.Perluasan konten materi ke berbagai bidang studi lain seperti sains dan matematika dapat memperluas cakupan penggunaan aplikasi. Pengembangan fitur multiplayer atau kolaboratif juga dapat meningkatkan aspek sosial dalam pembelajaran, sementara pengujian pada skala yang lebih besar akan memberikan validasi yang lebih komprehensif terhadap efektivitas aplikasi ini sebagai media pembelajaran modern.

REFERENCES

[1] C. M. Keumala, Z. Zainuddin, and F. Fauzan, “Implementasi sistem evaluasi formatif berbasis game ‘Kahoot dan Quizizz’ untuk meningkatkan motivasi belajar mahasiswa di masa pandemi (studi pada mata kuliah ekonomi islam),” Jurnal Inovasi Pendidikan Ekonomi (JIPE), vol. 11, no. 2, pp. 125–135, Dec. 2021, doi: 10.24036/011123600.

[2] U. Nurhasan, H. Pradibta, and F. Z. Alhaddad, “Analisis perilaku non-playable character pada game menggunakan fuzzy sugeno,” J. Teknol. Inf. Ilmu Komput., vol. 8, no. 4, pp. 745–752, Aug. 2021.

[3] A. H. Rambe, H. F. Parapat, and R. Hadinata, “Pemanfaatan media berbasis game dalam meningkatkan aktivitas siswa pada pembelajaran sekolah dasar,” ELSE (Elem. Sch. Educ. J.), vol. 8, no. 1, pp. 112–125, Feb. 2024.

[4] S. Yunita et al., “Scoping review: Item analysis pada multiple choice questions (MCQs) dalam pembelajaran,” J. Inov. Pendidik. MH Thamrin, vol. 7, no. 1, pp. 46–60, Mar. 2023, doi: 10.37012/jipmht.v7i1.1671.

[5] T. G. D. Anwar and Sukirman, “Pengembangan game edukasi dengan genre role playing game untuk mendukung pembelajaran sistem komputer,” Decode: J. Pendidik. Teknol. Inf., vol. 4, no. 1, pp. 290–300, Feb. 2024, doi: 10.51454/decode.v4i1.353.

[6] M. Farhan, M. Ijlal, and U. Chotijah, “Color recognition educational game using Fisher-Yates for early childhood potential development,” Int. J. Educ. Technol., vol. 7, no. 2, pp. 145–156, Jun. 2022.

[7] T. Wibowo and V. C. Apriyanti, “Efektivitas game edukasi dalam meningkatkan motivasi belajar dan kepuasan siswa Indonesia,” Smart Comp: Jurnalnya Orang Pintar Komput., vol. 13, no. 3, pp. 456–465, Jul. 2024, doi: 10.30591/smartcomp.v13i3.5973.

This is an open access article under the CC–BY-SA license

Terakreditasi SINTA 5 SK :72/E/KPT/2024
Submitted: **23/11/2025**; Accepted: **27/12/2025**; Published: **02/04/2026**

Volume 7 Nomor 2 April 2026, Page 173-183
ISSN 2808-005X (media online)
Available Online at http://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/jumin

[8] D. Aditama, R. Putri, and N. Budiarti, "Aplikasi media pembelajaran alphanumerik dan pengenalan hewan untuk anak usia pra-sekolah dengan memanfaatkan teknologi augmented reality," J. Teknol. Inf. Pendidik., vol. 15, no. 2, pp. 88–97, Sep. 2022.

[9] M. Khaerudin, D. B. Srisulistiowati, and J. Warta, "Game edukasi dengan menggunakan Unity 3D untuk menunjang proses pembelajaran," J. Warta Inform., vol. 9, no. 1, pp. 34–43, Mar. 2023.

[10] J. Y. A. Lopez, R. N. N. Huaycho, F. I. Y. Santos, F. T. Mendoza, and F. H. R. Paucar, "The impact of serious games on learning in primary education: A systematic literature review," Int. J. Learn. Teach. Educ. Res., vol. 22, no. 3, pp. 379–395, Mar. 2023, doi: 10.26803/ijlter.22.3.23.

[11] N. A. E. Nur, F. Dewi, and A. I. Gufroni, "Rancang bangun game edukasi 'Dinosawr' berbasis android menggunakan Unity 3D," J. Sist. Teknol. Inf. (JUSTIN), vol. 13, no. 1, pp. 112–120, Jan. 2025, doi: 10.26418/justin.v13i1.78990.

[12] H. Ashari and E. Makmur, "Evaluasi pembelajaran melalui implementasi game edukasi Quizizz pada perkuliahan," J. Pendidik. Teknol. Indones., vol. 6, no. 3, pp. 234–245, Sep. 2023.

[13] N. F. Ramadhanti, M. Lamada, and M. Riska, "Pengembangan aplikasi game edukasi 3D 'Finding Geometry' berbasis Unity sebagai media pembelajaran bangun ruang matematika," J. Ilm. Teknol. Pendidik., vol. 4, no. 2, pp. 178–189, Oct. 2021.

[14] A. Rosalina and M. Liesdiani, "Game edukasi untuk siswa diskalkulia menggunakan model MDLC," EDUKATIF: J. Ilmu Pendidik., vol. 6, no. 3, pp. 2164–2173, May 2024, doi: 10.31004/edukatif.v6i3.6609.

[15] F. A. Bashir and B. Bramastia, "Implementasi game based learning berbasis digital," EDUKATIF: J. Ilmu Pendidik., vol. 4, no. 6, pp. 8070–8083, Jan. 2023, doi: 10.31004/edukatif.v4i6.3819.

[16] M. A. Hasan, S. Supriadi, and Z. Zamzami, "Implementasi Algoritma Fisher-Yates Untuk Mengacak Soal Ujian Online Penerimaan Mahasiswa Baru (Studi Kasus : Universitas Lancang Kuning Riau)," *Jurnal Nasional Teknologi dan Sistem Informasi*, vol. 3, no. 2, pp. 291–298, Sep. 2017, doi: 10.25077/teknosi.v3i2.2017.291-298.

This is an open access article under the CC–BY-SA license

Terakreditasi SINTA 5 SK :72/E/KPT/2024
Submitted: **23/11/2025**; Accepted: **27/12/2025**; Published: **02/04/2026**