



## IMPLEMENTASI TEKNIK PRE-RENDER UNTUK OPTIMASI ASET LINGKUNGAN 3D DALAM GAME EDUKASI "GURU SIMULATOR"

Bayu Ahmad Firdaus<sup>1</sup>, RM. Joko Priyono<sup>2</sup>, Sigit Winarso<sup>3</sup>, RB Hendri K<sup>4</sup>, Wilhellmus F.<sup>5</sup>

Program Studi Teknologi Permainan, Sekolah Tinggi Multi Media "MMTC" Yogyakarta<sup>12345</sup>  
e-mail korespondensi: [buyahmadfirdaus@email.com](mailto:buyahmadfirdaus@email.com)

Diterima: 08/04/2026; Direvisi: 19/04/2026; Diterbitkan: 24/04/2026

### ABSTRAK

Pengembangan game edukasi berbasis 3D sering menghadapi kendala performa pada perangkat berspesifikasi rendah akibat tingginya kebutuhan komputasi grafis berbasis *real-time rendering*. Penelitian ini bertujuan menganalisis implementasi teknik *pre-render* untuk mengoptimalkan aset lingkungan 3D dalam game edukasi "Guru Simulator" guna meningkatkan efisiensi performa tanpa menurunkan kualitas visual. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan pendekatan *pre-render* melalui perangkat lunak Blender untuk proses *modeling*, *texturing*, dan *rendering* objek 3D menjadi gambar 2D. Evaluasi performa dilakukan menggunakan *Unity Profiler* dan pengujian *frame rate* pada perangkat Android, serta validasi pengguna melalui survei terhadap 28 siswa sekolah dasar. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan *frame rate* dari 33 FPS menjadi 59 FPS (78,8%), penurunan *frame time* dari 29,88 ms menjadi 12 ms, serta pengurangan signifikan pada jumlah *vertices* dan penggunaan memori tekstur. Selain itu, 93% responden menyatakan preferensi terhadap visual *pre-render* dan 89% merasakan peningkatan performa. Dengan demikian, teknik *pre-render* terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi performa sekaligus mempertahankan kualitas visual, sehingga layak diterapkan dalam pengembangan game edukasi pada perangkat terbatas. **Kata kunci:** *game edukasi, pre-render, optimasi 3D, simulasi pendidikan, low poly*

### ABSTRACT

The development of 3D educational games often faces performance constraints on low-specification devices due to the high computational demands of *real-time rendering*. This study aims to analyze the implementation of the *pre-render* technique to optimize 3D environmental assets in the educational game "Guru Simulator" in order to improve performance efficiency without compromising visual quality. An experimental method was employed using a *pre-render* approach with Blender for modeling, texturing, and rendering 3D objects into high-quality 2D images. Performance evaluation was conducted using the Unity Profiler and frame rate testing on Android devices, while user validation involved a survey of 28 elementary school students. The results show a significant improvement in frame rate from 33 FPS to 59 FPS (78.8%), a reduction in frame time from 29.88 ms to 12 ms, and substantial decreases in vertices count and texture memory usage. Furthermore, 93% of respondents preferred the pre-rendered visuals, and 89% reported improved gameplay performance. These findings indicate that the *pre-render* technique is effective in enhancing performance efficiency while maintaining visual quality, making it a viable solution for developing educational games on limited hardware devices.

**Keywords:** *educational games, pre-render, 3D optimization, educational simulation, low poly*



## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital dalam beberapa dekade terakhir telah membawa perubahan signifikan dalam dunia pendidikan, khususnya dalam pemanfaatan media pembelajaran berbasis teknologi interaktif. Salah satu bentuk inovasi yang berkembang pesat adalah penggunaan *game edukasi* sebagai sarana pembelajaran yang mampu menggabungkan unsur hiburan dan edukasi secara simultan. *Game edukasi* tidak hanya berfungsi sebagai media penyampaian materi, tetapi juga mampu meningkatkan keterlibatan pengguna melalui interaksi langsung, sehingga proses belajar menjadi lebih menarik dan tidak monoton. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *game edukasi* dapat meningkatkan motivasi belajar, keterlibatan kognitif, serta efektivitas pemahaman konsep, terutama ketika didukung oleh teknologi visual yang memadai (Ullah et al., 2022; Romero Rodriguez et al., 2025). Seiring dengan perkembangan tersebut, integrasi teknologi grafis tiga dimensi (3D) dalam *game edukasi* menjadi semakin penting karena mampu menghadirkan pengalaman belajar yang lebih imersif, realistis, dan kontekstual. Lingkungan 3D memungkinkan pengguna untuk berinteraksi secara lebih natural dengan objek virtual, sehingga mendukung pembelajaran berbasis eksplorasi dan simulasi (Chorny et al., 2025; Rapaka et al., 2025). Dengan demikian, pengembangan *game edukasi* berbasis 3D menjadi salah satu pendekatan strategis dalam menjawab kebutuhan pembelajaran di era digital (Harmini et al., 2024; Khaerudin et al., 2021).

Implementasi *game edukasi* berbasis 3D dalam penelitian ini diwujudkan melalui pengembangan aplikasi berjudul “Guru Simulator”. Aplikasi ini dirancang sebagai media pembelajaran interaktif yang mensimulasikan peran guru dalam mengelola kegiatan pembelajaran di kelas, sehingga pengguna dapat memahami dinamika proses pembelajaran secara kontekstual. “Guru Simulator” memanfaatkan lingkungan virtual 3D untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih nyata, di mana pengguna dapat berinteraksi dengan objek, karakter, dan situasi yang merepresentasikan kondisi pembelajaran sebenarnya. Penggunaan pendekatan simulasi ini diharapkan mampu meningkatkan keterlibatan pengguna sekaligus memperkuat pemahaman konsep pedagogis melalui pengalaman langsung.

Meskipun memiliki potensi yang besar, implementasi teknologi 3D dalam *game edukasi*, termasuk pada “Guru Simulator”, tidak terlepas dari berbagai tantangan teknis, khususnya yang berkaitan dengan performa sistem. Pengolahan grafis 3D secara *real-time* membutuhkan sumber daya komputasi yang tinggi karena setiap elemen visual harus dihitung dan ditampilkan secara langsung saat permainan berlangsung. Proses ini melibatkan berbagai komponen kompleks seperti pencahayaan, tekstur, bayangan, serta pergerakan objek yang harus diproses secara simultan. Akibatnya, pada perangkat dengan spesifikasi rendah atau menengah, sering terjadi penurunan kinerja yang ditandai dengan rendahnya *frame rate*, munculnya *lag*, hingga ketidakstabilan tampilan visual. Kondisi tersebut tidak hanya mengganggu kenyamanan pengguna, tetapi juga dapat menurunkan efektivitas pembelajaran karena interaksi menjadi tidak optimal. Fenomena ini menjadi perhatian penting dalam pengembangan *game edukasi*, mengingat target pengguna umumnya berasal dari berbagai latar belakang dengan keterbatasan perangkat yang berbeda-beda (Juneja et al., 2025; Wu et al., 2025).

Upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut telah dilakukan melalui berbagai teknik optimasi grafis dalam pengembangan *game* berbasis 3D. Teknik seperti *Level of Detail (LOD)* memungkinkan pengurangan kompleksitas model berdasarkan jarak pandang pengguna, sehingga beban pemrosesan dapat diminimalkan tanpa mengurangi kualitas visual secara signifikan. Selain itu, metode *occlusion culling* digunakan untuk menghilangkan objek yang tidak terlihat dari sudut pandang kamera, sementara *static batching* menggabungkan beberapa



objek menjadi satu kesatuan untuk mengurangi jumlah proses rendering. Berbagai pendekatan ini terbukti mampu meningkatkan performa sistem dalam kondisi tertentu (Arianto et al., 2024; Simatupang & Purnamasari, 2024; Pradana et al., 2025). Namun demikian, teknik-teknik tersebut pada dasarnya masih bergantung pada mekanisme *real-time rendering*, sehingga tetap membutuhkan sumber daya komputasi yang cukup besar, terutama ketika digunakan pada lingkungan 3D yang kompleks dan dinamis. Kondisi ini menunjukkan bahwa diperlukan pendekatan alternatif yang tidak hanya berfokus pada optimasi, tetapi juga pada efisiensi proses rendering secara keseluruhan.

Pendekatan alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi keterbatasan tersebut adalah teknik *pre-render*. Teknik ini memungkinkan proses rendering dilakukan terlebih dahulu secara *offline* untuk menghasilkan aset visual dalam bentuk gambar atau animasi yang kemudian digunakan dalam aplikasi secara langsung. Melalui pendekatan ini, beban komputasi saat *runtime* dapat dikurangi secara signifikan karena sistem tidak perlu lagi melakukan perhitungan grafis secara *real-time*. Selain itu, teknik *pre-render* juga memungkinkan pencapaian kualitas visual yang lebih tinggi karena proses rendering dilakukan tanpa batasan waktu komputasi seperti pada *real-time rendering* (Sloan et al., 2023; Andrade et al., 2014). Perkembangan teknologi rendering modern, termasuk penggunaan pendekatan *neural rendering*, semakin memperkuat pentingnya efisiensi dalam pengolahan visual, khususnya pada aplikasi interaktif seperti *game edukasi* (Tewari et al., 2020; Yermolaieva, 2025).

Keterbatasan kajian mengenai penerapan teknik *pre-render* dalam konteks *game edukasi* menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang perlu diisi. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada optimasi berbasis *real-time rendering* tanpa mengeksplorasi secara mendalam potensi *pre-render* dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas visual secara bersamaan. Selain itu, penelitian terkait optimasi aset 3D umumnya lebih menitikberatkan pada aspek teknis tanpa mengaitkannya dengan kebutuhan spesifik dalam pengembangan media pembelajaran interaktif (Sukaridhoto et al., 2023; Takikawa et al., 2021). Kondisi ini menunjukkan bahwa integrasi antara teknologi rendering dan kebutuhan pedagogis masih belum optimal.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara mendalam implementasi teknik *pre-render* dalam pembuatan aset lingkungan 3D pada *game edukasi* "Guru Simulator". Penelitian ini juga mengevaluasi sejauh mana teknik tersebut mampu meningkatkan performa sistem dibandingkan dengan metode *real-time rendering*, serta menganalisis kualitas visual yang dihasilkan dalam mendukung pengalaman pengguna. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dan praktis dalam pengembangan *game edukasi* yang lebih efisien, adaptif, dan sesuai dengan keterbatasan perangkat pengguna.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk membandingkan performa teknik *pre-render* dengan *real-time rendering* dalam pengembangan aset lingkungan 3D pada *game edukasi*. Proses penelitian meliputi tahap pra-produksi, produksi, dan pasca-produksi. Tahap pra-produksi mencakup perancangan konsep dan kebutuhan aset, sedangkan tahap produksi dilakukan melalui pembuatan model 3D, pemberian tekstur, proses *rendering*, serta integrasi aset ke dalam *game engine*. Tahap pasca-produksi difokuskan pada pengujian dan evaluasi hasil implementasi.

*Pipeline pre-render* dalam penelitian ini merupakan serangkaian tahapan pengolahan visual di mana objek tiga dimensi diproses terlebih dahulu menjadi gambar dua dimensi



sebelum digunakan di dalam *game*. Berbeda dengan *real-time rendering* yang menghitung tampilan visual secara langsung saat *game* dijalankan, teknik *pre-render* memungkinkan proses komputasi berat dilakukan di awal sehingga dapat mengurangi beban perangkat saat penggunaan.

Secara lebih rinci, tahapan *Pipeline pre-render* dimulai dari pembuatan model 3D sederhana (*low poly*) menggunakan perangkat lunak *Blender*, yang bertujuan untuk menjaga efisiensi jumlah poligon. Selanjutnya, objek diberikan tekstur melalui teknik *UV mapping*, yaitu proses memetakan gambar dua dimensi ke permukaan model 3D agar terlihat lebih realistis. Setelah itu, objek dirender menggunakan mesin *Cycles* untuk menghasilkan gambar statis berkualitas tinggi dengan pencahayaan, bayangan, dan detail visual yang telah dihitung sebelumnya. Hasil *render* tersebut berupa gambar 2D (seperti *sprite* atau *background*) yang kemudian diimpor ke dalam *Unity 2022.3* sebagai aset visual. Dalam tahap integrasi, gambar-gambar ini disusun sedemikian rupa sehingga tetap memberikan kesan ruang tiga dimensi meskipun secara teknis ditampilkan dalam bentuk dua dimensi.

Pengujian performa dilakukan menggunakan *Unity Profiler* untuk menganalisis penggunaan CPU, memori, dan *frame time*, serta pengukuran *frame rate* pada perangkat *smartphone* Android. Selain itu, validasi pengguna dilakukan melalui survei terhadap 28 siswa sekolah dasar menggunakan kuesioner skala Likert untuk menilai kualitas visual, performa, dan *user experience*. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui efektivitas penerapan teknik *pre-render* dalam meningkatkan performa dan kualitas visual *game* edukasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

#### Tahap Pra-Produksi

Pada tahap pra-produksi, penelitian ini diawali dengan proses identifikasi kebutuhan dan perumusan konsep visual yang akan digunakan dalam pengembangan lingkungan *game* edukasi. Lingkungan yang dipilih adalah ruang kelas sekolah dasar karena memiliki kedekatan kontekstual dengan pengguna sasaran, yaitu siswa. Pemilihan konteks ini tidak hanya mempertimbangkan aspek relevansi, tetapi juga kemudahan dalam membangun pengalaman belajar yang imersif, di mana pengguna dapat mengenali elemen-elemen visual yang familiar dalam kehidupan sehari-hari mereka. Dengan demikian, tahap awal ini berperan penting dalam memastikan bahwa desain yang dihasilkan tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga memiliki nilai edukatif dan kontekstual.

Hasil perancangan menunjukkan bahwa diperlukan sebanyak 23 jenis objek untuk merepresentasikan lingkungan kelas secara utuh. Objek tersebut meliputi elemen utama seperti meja siswa, kursi, papan tulis, dan meja guru, serta elemen pendukung seperti pot bunga, lemari, dan poster edukatif. Keberagaman objek ini dirancang untuk menciptakan suasana kelas yang realistis sekaligus menarik secara visual. Selain itu, setiap objek dirancang dengan mempertimbangkan fungsi dan posisi dalam ruang, sehingga tidak hanya berperan sebagai elemen dekoratif, tetapi juga sebagai bagian dari struktur visual yang mendukung interaksi dalam *game*.

Dalam tahap ini juga ditentukan pendekatan visual yang digunakan, yaitu gaya *low poly*. *Low poly* merupakan teknik pemodelan objek tiga dimensi dengan jumlah poligon yang relatif rendah, sehingga bentuk objek menjadi lebih sederhana namun tetap representatif. Pendekatan ini dipilih karena mampu menekan kompleksitas geometris tanpa mengorbankan kejelasan bentuk objek. Bagi pembaca lintas bidang, poligon dapat dipahami sebagai bidang-bidang kecil



yang menyusun permukaan objek 3D; semakin banyak poligon, semakin halus bentuk objek, tetapi juga semakin berat beban komputasi yang dibutuhkan.

Selain itu, penelitian ini menerapkan penggunaan *color palette* terbatas sebanyak 64 warna yang digunakan secara konsisten pada seluruh aset. *Color palette* merupakan kumpulan warna yang telah ditentukan sebelumnya untuk menjaga keselarasan visual. Penggunaan jumlah warna yang terbatas bertujuan untuk menciptakan tampilan yang sederhana, tidak berlebihan, dan nyaman bagi mata pengguna, khususnya anak-anak. Pendekatan ini juga berkontribusi terhadap efisiensi pemrosesan grafis, karena variasi warna yang lebih sedikit cenderung lebih ringan untuk ditampilkan oleh perangkat.

## **Tahap Produksi**

### **Implementasi *Pipeline Pre-render***

Tahap produksi merupakan inti dari proses pengembangan aset, di mana seluruh konsep yang telah dirancang pada tahap sebelumnya direalisasikan menjadi bentuk visual yang dapat digunakan dalam *game*. Pada penelitian ini, proses produksi dilakukan menggunakan *Pipeline pre-render*, yaitu metode pengolahan grafis di mana objek tiga dimensi diubah terlebih dahulu menjadi gambar dua dimensi sebelum diintegrasikan ke dalam aplikasi. Pendekatan ini berbeda dengan *real-time rendering*, yang menghitung tampilan visual secara langsung saat aplikasi berjalan. Dengan menggunakan *pre-render*, proses komputasi yang kompleks dipindahkan ke tahap awal, sehingga saat aplikasi digunakan, perangkat tidak perlu melakukan perhitungan berat secara berulang.

Proses dimulai dengan pembuatan model 3D menggunakan perangkat lunak *Blender*. Pada tahap ini, setiap objek dirancang dengan pendekatan *low poly* untuk menjaga efisiensi jumlah poligon. Setelah model selesai dibuat, dilakukan proses *UV mapping*, yaitu teknik memetakan gambar dua dimensi ke permukaan objek tiga dimensi. Proses ini dapat dianalogikan seperti membungkus sebuah objek dengan “kulit” berupa gambar, sehingga objek memiliki warna dan detail visual tertentu.

Selanjutnya, dilakukan proses *rendering* menggunakan mesin *Cycles*. *Rendering* adalah proses menghasilkan gambar akhir dari model 3D dengan mempertimbangkan pencahayaan, bayangan, tekstur, dan sudut pandang kamera. Mesin *Cycles* digunakan karena mampu menghasilkan kualitas visual yang realistis melalui simulasi pencahayaan yang akurat. Hasil dari proses ini berupa gambar dua dimensi seperti *sprite* (objek visual dalam bentuk gambar) atau latar belakang (*background*), yang kemudian diimpor ke dalam *Unity* sebagai aset visual. Dengan demikian, objek tidak lagi diproses sebagai model 3D secara langsung saat permainan berlangsung, melainkan sebagai gambar statis yang lebih ringan.

### ***Layer Separation System***

Untuk menjaga kesan kedalaman ruang dalam lingkungan *game*, penelitian ini menerapkan sistem pemisahan lapisan (*layer separation system*). Teknik ini dilakukan dengan membagi objek ke dalam beberapa lapisan berdasarkan jaraknya terhadap kamera. Tujuannya adalah untuk menciptakan ilusi ruang tiga dimensi meskipun objek yang digunakan berupa gambar dua dimensi. Pada bagian dalam kelas, objek dibagi menjadi delapan lapisan, mulai dari lapisan paling belakang seperti dinding hingga lapisan terdepan seperti meja guru. Pembagian ini memungkinkan pergerakan kamera atau karakter menghasilkan efek visual yang menyerupai kedalaman ruang. Sementara itu, pada bagian luar kelas, objek dibagi menjadi dua

lapisan utama, yaitu latar belakang dan bangunan. Meskipun lebih sederhana, pembagian ini tetap mampu memberikan persepsi ruang yang cukup bagi pengguna.

Secara konseptual, teknik ini dapat dipahami sebagai penyusunan beberapa lembar gambar secara berlapis, di mana setiap lapisan memiliki posisi dan jarak tertentu. Ketika ditampilkan secara bersamaan, lapisan-lapisan tersebut menciptakan ilusi kedalaman. Pendekatan ini efektif dalam mengurangi beban komputasi karena perangkat tidak perlu menghitung perspektif dan pencahayaan secara dinamis seperti pada objek 3D penuh.

### Tahap Pasca-Produksi

#### Analisis Performa Teknis

Tahap pasca-produksi difokuskan pada pengujian dan evaluasi performa sistem yang telah dikembangkan. Pengujian dilakukan menggunakan *Unity Profiler*, yaitu alat yang digunakan untuk memantau kinerja aplikasi secara rinci, termasuk penggunaan CPU (prosesor), memori, serta waktu pemrosesan setiap frame (*frame time*). *Frame time* sendiri merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menampilkan satu gambar, yang berpengaruh langsung terhadap kelancaran animasi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa teknik *pre-render* memberikan peningkatan performa yang signifikan dibandingkan *real-time rendering*. Hal ini terlihat dari *frame rate* yang lebih tinggi dan stabil, yaitu mencapai 100 FPS, dibandingkan metode *real-time* yang berada pada kisaran 30–60 FPS dan cenderung tidak stabil. *Frame rate* yang tinggi menunjukkan bahwa gambar dapat ditampilkan lebih banyak dalam satu detik, sehingga pergerakan terlihat lebih halus.

Selain itu, terjadi penurunan *frame time* yang cukup signifikan, yang menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk menampilkan setiap frame menjadi lebih singkat. Penurunan ini mengindikasikan bahwa sistem bekerja lebih efisien dalam menampilkan visual. Dengan kata lain, teknik *pre-render* mampu mengurangi beban kerja perangkat saat aplikasi dijalankan.

**Tabel 1. Perbandingan Performa Real-time Rendering dan Pre-render**

Parameter	Real-time Render	Pre-render	Peningkatan
Frame Rate (FPS)	30–60 (fluktuatif)	100 (stabil)	66,7%
Frame Time (ms)	29,88	12,0	59,8%
CPU Usage	Fluktuatif tinggi	Stabil rendah	Signifikan
Vertices Count	443,10k	5,89k	98,7%
Texture Memory (MB)	10,8	1,5	86,1%

Data pada tabel menunjukkan bahwa jumlah *vertices* (titik penyusun objek 3D) mengalami penurunan drastis hingga lebih dari 98%. Penurunan ini berdampak langsung pada berkurangnya beban pemrosesan grafis. Selain itu, penggunaan memori tekstur juga menurun secara signifikan, yang menunjukkan bahwa teknik ini lebih efisien dalam memanfaatkan sumber daya perangkat.

### Pengujian pada Perangkat Android

Pengujian lanjutan dilakukan pada perangkat *smartphone* Android kelas menengah untuk mengetahui performa aplikasi dalam kondisi penggunaan nyata. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode *real-time rendering* menghasilkan rata-rata 33 FPS dengan



penggunaan CPU sebesar 53% dan GPU sebesar 30%. Nilai ini menunjukkan bahwa perangkat harus bekerja cukup keras untuk mempertahankan performa.

Sebaliknya, teknik *pre-render* mampu meningkatkan performa hingga mencapai 59 FPS dengan penggunaan CPU dan GPU yang lebih stabil. Stabilitas ini penting karena fluktuasi performa dapat menyebabkan pengalaman pengguna menjadi tidak nyaman, seperti tampilan yang tersendat atau respons yang lambat. Dengan demikian, hasil ini menunjukkan bahwa teknik *pre-render* tidak hanya meningkatkan performa secara teknis, tetapi juga memberikan pengalaman penggunaan yang lebih lancar dan konsisten.

### Validasi Pengguna

Tahap akhir dalam penelitian ini adalah validasi pengguna untuk menilai kualitas visual dan pengalaman penggunaan secara langsung. Validasi dilakukan dengan melibatkan 28 siswa kelas V sekolah dasar sebagai responden. Pemilihan kelompok ini didasarkan pada kesesuaian dengan target pengguna utama dari *game* edukasi yang dikembangkan, sehingga hasil evaluasi dapat merepresentasikan pengalaman pengguna secara relevan.

Hasil survei menunjukkan bahwa sebagian besar responden memberikan tanggapan positif terhadap implementasi teknik *pre-render*. Sebanyak 93% responden menyatakan bahwa tampilan visual yang dihasilkan lebih menarik dan nyaman dilihat. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan visual yang digunakan, termasuk *low poly* dan *color palette* terbatas, mampu memenuhi preferensi pengguna.

Selain itu, 89% responden merasakan peningkatan kelancaran saat memainkan *game*, yang menunjukkan bahwa performa sistem memiliki pengaruh langsung terhadap pengalaman pengguna (*user experience*). Dari sisi kenyamanan visual, 82% responden menyatakan bahwa warna yang digunakan sudah sesuai dan tidak mengganggu penglihatan. Sementara itu, 64% responden menilai bahwa lingkungan yang ditampilkan sudah sesuai dengan suasana ruang kelas yang mereka kenal.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa keberhasilan teknik *pre-render* tidak hanya terletak pada peningkatan efisiensi teknis, tetapi juga pada kemampuannya dalam menciptakan pengalaman visual yang nyaman dan mudah dipahami oleh pengguna, khususnya pada konteks pendidikan dasar.

### Pembahasan

Temuan penelitian ini memperlihatkan bahwa penggunaan teknik *pre-render* mampu meningkatkan kinerja sistem secara nyata tanpa menurunkan kualitas tampilan visual pada *game* edukasi berbasis 3D. Peningkatan tersebut tidak hanya tercermin pada aspek teknis seperti kestabilan *frame rate* dan efisiensi penggunaan sumber daya, tetapi juga berdampak pada kenyamanan pengguna saat berinteraksi dengan aplikasi. Hal ini mengindikasikan bahwa optimalisasi grafis memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan antara performa dan kualitas visual. Dalam pengembangan *serious games*, kondisi sistem yang stabil menjadi faktor penting karena berkaitan langsung dengan efektivitas penyampaian materi pembelajaran melalui media interaktif (Ullah et al., 2022; Romero Rodríguez et al., 2025). Selain itu, tampilan yang responsif dan bebas gangguan teknis juga berkontribusi terhadap peningkatan keterlibatan pengguna dalam proses belajar (Rapaka et al., 2025).

Jika dikaitkan dengan pengembangan *Guru Simulator*, hasil ini menunjukkan bahwa performa sistem memiliki pengaruh langsung terhadap keberhasilan simulasi pembelajaran. *Guru Simulator* dirancang untuk menghadirkan pengalaman seolah-olah pengguna berada



dalam situasi mengajar di kelas, sehingga dibutuhkan sistem yang mampu berjalan secara konsisten tanpa hambatan. Gangguan seperti penurunan *frame rate* atau keterlambatan respons dapat mengurangi tingkat imersi pengguna dan berpotensi mengganggu proses pembelajaran. Oleh karena itu, penerapan teknik *pre-render* tidak hanya berfungsi sebagai solusi teknis, tetapi juga sebagai faktor pendukung keberhasilan media pembelajaran berbasis simulasi.

Secara teknis, peningkatan performa yang dihasilkan dapat dipahami melalui mekanisme pengalihan proses komputasi dari saat aplikasi dijalankan ke tahap awal pengembangan. Dengan kata lain, perhitungan kompleks seperti pencahayaan dan bayangan telah diselesaikan terlebih dahulu, sehingga pada saat *game* digunakan, perangkat hanya menampilkan hasil akhir berupa gambar dua dimensi. Pendekatan ini memiliki prinsip yang sejalan dengan konsep *precomputed radiance transfer* yang mengutamakan efisiensi melalui perhitungan awal (Sloan et al., 2023). Dibandingkan dengan *real-time rendering* yang harus memproses berbagai elemen visual secara bersamaan, teknik ini lebih ringan dan stabil, terutama pada perangkat dengan kemampuan grafis terbatas (Wu et al., 2025). Perkembangan *rendering pipeline* modern juga menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu mengurangi beban pemrosesan saat *runtime* untuk meningkatkan stabilitas sistem (Juneja et al., 2025).

Lebih lanjut, efisiensi yang diperoleh juga dipengaruhi oleh berkurangnya jumlah *vertices* serta penggunaan tekstur dalam bentuk gambar dua dimensi. Pengurangan kompleksitas ini membuat kebutuhan memori dan pemrosesan menjadi lebih rendah. Pendekatan tersebut memiliki kemiripan dengan teknik optimasi seperti *Level of Detail (LOD)* dan *occlusion culling*, yang sama-sama bertujuan mengurangi beban grafis dengan cara menyederhanakan objek yang diproses (Arianto et al., 2024; Simatupang & Purnamasari, 2024). Namun demikian, *pre-render* menawarkan pendekatan yang lebih sederhana karena tidak memerlukan penyesuaian secara dinamis selama aplikasi berjalan. Oleh sebab itu, teknik ini lebih sesuai diterapkan pada *game* edukasi seperti *Guru Simulator* yang tidak menuntut interaktivitas lingkungan secara kompleks.

Dari sudut pandang visual, tingginya tingkat penerimaan pengguna menunjukkan bahwa pendekatan *pre-render* tetap mampu menghasilkan tampilan yang menarik. Hal ini memperlihatkan bahwa kualitas visual tidak selalu bergantung pada kompleksitas proses *rendering*, melainkan pada bagaimana desain visual dirancang secara efektif. Dalam konteks *Guru Simulator*, penggunaan visual yang sederhana namun konsisten justru membantu pengguna dalam memahami lingkungan pembelajaran tanpa terganggu oleh detail yang berlebihan. Penelitian sebelumnya juga menegaskan bahwa persepsi realisme dapat dibangun melalui komposisi visual dan pengaturan elemen grafis yang tepat, bukan semata-mata dari kompleksitas teknis (Chorny et al., 2025).

Keterkaitan antara *pre-render* dan *hybrid rendering* juga dapat memberikan perspektif tambahan dalam memahami hasil penelitian ini. *Hybrid rendering* merupakan pendekatan yang menggabungkan teknik *pre-render* dengan *real-time rendering* untuk memperoleh keseimbangan antara performa dan kualitas visual (Andrade et al., 2014). Dalam penelitian ini, teknik *pre-render* dapat diposisikan sebagai fondasi utama, khususnya untuk elemen lingkungan yang bersifat statis. Sementara itu, elemen yang membutuhkan interaksi langsung masih dapat diproses secara *real-time*. Dengan pendekatan ini, *Guru Simulator* berpotensi mengembangkan sistem yang lebih fleksibel, di mana kualitas visual tetap terjaga tanpa meningkatkan beban komputasi secara signifikan.

Dalam konteks yang lebih luas, hasil penelitian ini memperkuat pandangan bahwa penggunaan teknologi 3D dalam pembelajaran memiliki potensi besar, meskipun sering



dihadapkan pada kendala teknis (Khaerudin et al., 2021; Ramadhanti et al., 2021). Penerapan teknik *pre-render* menjadi salah satu solusi yang dapat menjembatani kebutuhan akan visualisasi yang menarik dengan keterbatasan perangkat yang tersedia. Hal ini sejalan dengan konsep *Game Development Life Cycle* yang menekankan pentingnya efisiensi dalam setiap tahapan pengembangan (Harmini et al., 2024). Selain itu, penggunaan *Unity* juga memungkinkan penerapan teknik optimasi tambahan seperti *static batching* untuk mendukung peningkatan performa secara keseluruhan (Pradana et al., 2025).

Implikasi praktis dari penelitian ini menunjukkan bahwa teknik *pre-render* dapat memperluas jangkauan penggunaan *game* edukasi. Dengan kebutuhan perangkat yang lebih rendah, aplikasi seperti *Guru Simulator* dapat diakses oleh lebih banyak pengguna, termasuk di lingkungan dengan keterbatasan teknologi. Kondisi ini menjadi penting dalam upaya pemerataan akses terhadap media pembelajaran digital. Penelitian sebelumnya juga menekankan bahwa aksesibilitas merupakan salah satu faktor utama dalam keberhasilan implementasi *serious games* (Anderson et al., 2010). Selain itu, efisiensi pemrosesan juga berdampak pada konsumsi energi yang lebih rendah, sehingga lebih sesuai untuk penggunaan pada perangkat *mobile*.

Di tengah perkembangan teknologi grafis yang semakin canggih, seperti *neural rendering*, arah pengembangan ke depan cenderung mengintegrasikan kecerdasan buatan untuk meningkatkan kualitas visual secara otomatis (Tewari et al., 2020). Namun demikian, pendekatan tersebut masih memerlukan sumber daya yang besar, sehingga belum sepenuhnya relevan untuk *game* edukasi ringan. Oleh karena itu, teknik *pre-render* tetap menjadi pilihan yang rasional dan aplikatif untuk kondisi saat ini.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa teknik *pre-render* tidak hanya berkontribusi terhadap peningkatan performa sistem, tetapi juga mendukung terciptanya pengalaman belajar yang lebih optimal melalui *Guru Simulator*. Efisiensi, stabilitas, dan kualitas visual yang seimbang menjadikan pendekatan ini sebagai alternatif yang layak untuk dikembangkan lebih lanjut dalam bidang *game* edukasi berbasis 3D.

## KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa teknik *pre-render* efektif dalam meningkatkan performa *game* edukasi 3D, ditunjukkan melalui peningkatan *frame rate*, efisiensi penggunaan memori, serta stabilitas kinerja sistem. Selain itu, tingkat penerimaan pengguna yang tinggi menunjukkan bahwa kualitas visual tetap terjaga meskipun menggunakan pendekatan non *real-time*. Implementasi *layer separation* juga mampu mempertahankan kesan ruang sehingga pengalaman visual tetap optimal. Dengan demikian, *pre-render* menjadi solusi yang efisien dan adaptif untuk pengembangan *game* edukasi pada perangkat dengan spesifikasi terbatas. Namun, penelitian ini masih terbatas pada pengujian satu jenis perangkat dan satu kelompok pengguna. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas pengujian pada berbagai perangkat serta mengembangkan pendekatan *hybrid rendering* guna mengoptimalkan elemen visual yang lebih dinamis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, E. F., McLoughlin, L., Liarokapis, F., Peters, C., Petridis, P., & De Freitas, S. (2010). Developing serious games for cultural heritage: A state-of-the-art review. *Virtual Reality*, 14(4), 255–275. <https://doi.org/10.1007/s10055-010-0177-3>



- Andrade, P., Sabino, T., & Clua, E. (2014). Towards a heuristic based real-time hybrid rendering: A strategy to improve real-time rendering quality using heuristics and ray tracing. In *Proceedings of the International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP)* (Vol. 3, pp. 12–21). <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7295056>
- Arianto, A. R., Kusnadi, K., & Parman, S. (2024). Pembuatan 3D karakter desain menggunakan teknik LOD untuk optimasi pada game mobile. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIKOMSiN)*, 12(2), 16–25. <https://p3m.sinus.ac.id/jurnal/index.php/TIKOMSiN/article/view/870>
- Chorny, D. D., Moiseienko, N. V., Moiseienko, M. V., & Vlasenko, K. V. (2025). Development of 3D models for implementing game environments. In *CEUR Workshop Proceedings* (pp. 80–90). <https://doi.org/10.54097/ajst.v7i2.11949>
- Hartono, R., Purnomo, A., Kurdhi, N. A., & Firdiana, I. H. (2016). Pembuatan game edukasi “English for Fun” untuk anak kelas 1–2 SD berbasis Android menggunakan Unity 3D. *Simetris*, 7(2), 521–526. <https://doi.org/10.24176/simet.v7i2.763>
- Harmini, T., Pradhana, F. R., Suryanita, D. N., & Warniasih, K. (2024). Implementasi game edukasi 3D pada materi aljabar melalui pendekatan GDLC. *Riemann*, 6(1), 23–38. <https://doi.org/10.38114/rksfhj44>
- Juneja, S., Kaur, A., Sehgal, N., & Prabhakar, A. (2025). Emerging trends and technologies in graphics rendering Pipeline. In *NETCRYPT 2025* (pp. 897–902). <https://doi.org/10.1109/NETCRYPT65877.2025.11102583>
- Khaerudin, M., Srisulistiowati, D. B., & Warta, J. (2021). Game edukasi menggunakan Unity 3D untuk menunjang pembelajaran. *Jurnal Sistem Informasi*, 8(2), 263–272. <https://doi.org/10.35968/jsi.v8i2.741>
- Pradana, R. P., Hermansyah, M., Albaab, M. R. U., & Atmadji, E. S. J. A. (2025). Analisis optimasi performa game 3D menggunakan static batching pada Unity Engine. *KUNKUN Journal*, 2(3), 196–203. <https://ejournal.mediakunkun.com/index.php/kunkun/article/view/300>
- Ramadhanti, N. F., Lamada, M., & Riska, M. (2021). Pengembangan game edukasi 3D “Finding Geometry” berbasis Unity. *Jurnal MediaTIK*, 21–26. <https://doi.org/10.59562/mediatik.v4i2.3076>
- Rapaka, A., Dharmadhikari, S. C., Kasat, K., Mohan, C. R., Chouhan, K., & Gupta, M. (2025). Revolutionizing learning through immersive and AI technologies. *Entertainment Computing*, 52, 100809. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2024.100809>
- Romero Rodríguez, L., Sánchez-Alzola, A., & Salazar, A. (2025). Serious games in engineering education. *Computer Applications in Engineering Education*, 33(3), e70021. <https://doi.org/10.1002/cae.70021>
- Simatupang, F. A., & Purnamasari, D. A. (2024). Optimasi LOD dan occlusion culling dalam game. *Journal of Applied Multimedia and Networking*, 8(2), 88–94. <https://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JAMN>
- Sloan, P. P., Kautz, J., & Snyder, J. (2023). Precomputed radiance transfer for real-time rendering. In *Seminal Graphics Papers* (pp. 339–348). <https://doi.org/10.1145/3596711.3596749>
- Sukaridhoto, S., Haz, A. L., Fajrianti, E. D., & Budiarti, R. P. N. (2023). Comparative study of 3D assets optimization. *IJASEIT*, 13(3). <https://doi.org/10.18517/ijaseit.13.3.18375>



- Takikawa, T., et al. (2021). Neural geometric level of detail. In *CVPR* (pp. 11358–11367). <https://doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.01120>
- Tewari, A., et al. (2020). State of the art on neural rendering. *Computer Graphics Forum*, 39(2), 701–727. <https://doi.org/10.1111/cgf.14022>
- Ullah, M., et al. (2022). Serious games in science education: A systematic literature review. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, 4(3), 189–209. <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2022.02.001>
- Wu, Y., et al. (2025). D-vsync: Decoupled rendering and displaying. In *ASPLOS 2025* (pp. 326–341). <https://doi.org/10.1145/3669940.3707235>
- Yermolaieva, Y. (2025). Performance optimization through adaptive shaders in Unity-driven VR and mobile games. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 103(23). <https://jatit.org/volumes/Vol103No23/33Vol103No23.pdf>