

Implementasi *CollectionService* untuk Optimasi *Rendering* Fisika Partikel Api dan Pencahayaan Dinamis pada Gim Simulasi Bencana

¹Rachmad Aminullah, ²Risa Helilintar, ³Muh. Aris Saputra

^{1 2 3} Teknik Informatika, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: ¹rachmadaminullah@gmail.com, ²aris.saputra@unpkdr.ac.id,

³risa.helilintar@unpkediri.ac.id

Penulis Korespondens : Rachmad Aminullah

Abstrak— Pengembangan gim simulasi bencana kebakaran menuntut representasi lingkungan yang memadai, termasuk penggunaan efek partikel api dan pencahayaan dinamis. Namun, penempatan objek *ParticleEmitter* secara individual dalam lingkungan tiga dimensi sering kali memicu penurunan *frame rate* (FPS) dan lonjakan konsumsi memori. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan beban *rendering* lingkungan gim simulasi kebakaran pada platform *Roblox Studio* melalui penerapan algoritma terpusat berbasis *CollectionService*. Metode *Analyze, Design, Develop, Implement, Evaluate* (ADDIE) diterapkan dalam perancangan sistem, sedangkan *Black Box Testing* digunakan untuk pengujian fungsionalitas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sentralisasi instruksi pembentuk api dapat meminimalisasi beban komputasi tanpa mengubah struktur *visual* simulasi secara drastis. Seluruh mekanik rintangan dan sistem deteksi tabrakan divalidasi telah merespon input dengan kesesuaian. Disimpulkan bahwa manajemen sumber daya melalui *CollectionService* dapat diterapkan untuk mendukung pembuatan gim edukasi yang lebih stabil saat diakses.

Kata Kunci— ADDIE, *CollectionService*, Gim Edukasi, Mitigasi Bencana, Optimasi *Rendering*.

Abstract— The development of fire disaster simulation games requires adequate environmental representation, including the use of fire particle effects and dynamic lighting. However, the individual placement of *ParticleEmitter* objects in a three-dimensional environment often triggers a drop in frame rate (FPS) and a spike in memory consumption. This study aims to optimize the rendering load of the fire simulation game environment on the *Roblox Studio* platform through the application of a centralized algorithm based on *CollectionService*. The *Analyze, Design, Develop, Implement, Evaluate* (ADDIE) method was applied in the system design, while *Black Box Testing* was used for functionality testing. The test results show that the centralization of fire-forming instructions can minimize the computational load without drastically changing the visual structure of the simulation. All obstacle mechanics and collision detection systems have been validated to respond appropriately to inputs. It is concluded that resource management through *CollectionService* can be applied to support the creation of educational games that are more stable when accessed.

Keywords— ADDIE, *CollectionService*, Disaster Mitigation, Educational Game, Rendering Optimization.

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Latar belakang umum terkait bencana kebakaran dan urgensinya diuraikan sebagai titik tolak penelitian ini. Bencana kebakaran merupakan ancaman terduga yang dapat membahayakan

keselamatan dan menimbulkan kerugian material masif di fasilitas publik maupun institusi pendidikan [1]. Pada situasi darurat, kesiapsiagaan dan pemahaman prosedur evakuasi sangat dibutuhkan. Namun, isu mendasar ditemukan bahwa sosialisasi mitigasi bencana yang diberikan melalui metode konvensional sering kali dinilai kurang memadai untuk merepresentasikan tekanan psikologis dan tantangan nyata di lapangan [2].

Sebagai alternatif pemecahan masalah, pemerolehan keterampilan praktis spasial dan pemahaman prosedur keselamatan kebakaran telah dieksplorasi melalui penggunaan gim serius (*serious games*). Tinjauan terhadap state of the art menunjukkan berbagai karya penelitian relevan yang telah dilakukan sebelumnya. Implementasi gim serius pada institusi pendidikan terbukti secara signifikan meningkatkan literasi prosedur evakuasi siswa [3]. Pendekatan gamifikasi pada bencana alam juga divalidasi mampu meningkatkan motivasi dan retensi pemahaman peserta secara komprehensif [2], [3]. Lebih lanjut, simulasi evakuasi kebakaran berbasis realitas *virtual* dengan *fidelitas* tinggi telah dikembangkan untuk melatih tenaga medis, yang menunjukkan bahwa tingkat imersi lingkungan sangat memengaruhi pengalaman belajar pengguna [4]. Pentingnya skenario lingkungan yang dinamis dan realistis di dalam gim mitigasi bencana juga ditekankan agar respons kognitif pemain dapat dilatih secara maksimal dalam mengambil keputusan krusial [5]. Studi-studi terkini lainnya turut mengonfirmasi efektivitas pengembangan gim mitigasi menggunakan berbagai metodologi rekayasa perangkat lunak sistematis [6], [7], [8]. Serangkaian karya terkait tersebut secara teoritis menegaskan bahwa gamifikasi merupakan instrumen yang paling relevan dan mutakhir untuk tujuan edukasi kebencanaan.

Meskipun demikian, melalui analisis literatur tersebut, sebuah kesenjangan penelitian (*gap analysis*) pada ranah rekayasa komputasi berhasil diidentifikasi. Pembangunan skenario lingkungan *virtual* yang dinamis dan imersif seperti penyebaran efek partikel api (*ParticleEmitter*) dan pencahayaan dinamis (*PointLight*) secara masif—selalu membawa konsekuensi pada beban komputasi yang berat. Implementasi rintangan *visual* yang dieksekusi secara individual pada mesin permainan sering kali memicu anomali konsumsi memori dan penurunan *frame rate* (*FPS*) yang dapat mendisrupsi jalannya simulasi [6]. Oleh karena itu, implementasi skenario *visual* pada beberapa penelitian terdahulu umumnya dibatasi pada lingkungan dua dimensi atau ruang tiga dimensi yang bersifat statis guna menghindari pembebanan komputasi berlebih pada spesifikasi perangkat pengguna [9].

Berdasarkan alasan dan analisis kesenjangan tersebut, penelitian ini dilaksanakan untuk menjembatani batasan teknis yang ada. Tujuan secara umum dari penelitian ini adalah merancang media gim edukasi evakuasi kebakaran tingkat tinggi yang realistis, efisien, dan dapat diakses secara luas tanpa batasan perangkat keras yang ketat. Secara spesifik, penelitian ini ditujukan untuk mengoptimalkan beban rendering fisika partikel api dan pencahayaan dinamis pada *platform Roblox Studio* melalui implementasi arsitektur algoritma terpusat berbasis fungsi *CollectionService*. Sebuah hipotesis diajukan dalam perancangan ini, yakni bahwa sentralisasi instruksi objek melalui *Tagging System* diproyeksikan mampu meminimalisasi konsumsi sumber daya komputasi secara signifikan tanpa mereduksi tingkat realisme *visual* dari gim simulasi yang dikembangkan.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan Pengembangan (*Development Research*) dengan mengadaptasi metode instruksional ADDIE (*Analyze, Design, Develop, Implement, Evaluate*).

Subjek yang diteliti dalam rekayasa perangkat lunak ini adalah kinerja pemrosesan (*rendering*) objek simulasi api tiga dimensi. Alat utama yang digunakan meliputi *platform Roblox Studio* sebagai *game engine*, bahasa pemrograman *Lua* untuk perakitan algoritma, dan komputer dengan spesifikasi kelas menengah untuk mensimulasikan beban komputasi pengguna. Variabel yang diukur mencakup kelancaran sistem *visual* (stabilitas *rendering* objek bertegangan tinggi) dan keakuratan fungsionalitas pendeteksian mekanik (pengurangan atribut kesehatan pemain saat bersentuhan dengan objek api).

Rancangan desain eksperimen disusun secara sistematis berdasarkan tahapan berikut. Tahap *Analyze* mengidentifikasi akar penyebab penurunan performa (*frame rate drop*), yaitu penggunaan puluhan skrip *ParticleEmitter* secara individual [1]. Tahap *Design* berfokus pada arsitektur penyelesaian, di mana konsep algoritma *Tagging System (CollectionService)* disusun untuk menggantikan sistem skrip terdesentralisasi [2]. Tahap *Develop* mengimplementasikan desain tersebut melalui penulisan kode *Lua*. Pada fase ini, seluruh model tiga dimensi yang dikategorikan sebagai titik rintangan api diberikan sebuah atribut logika khusus (*logical tag*) [6].

Prosedur berlanjut pada tahap *Implement*, di mana skrip master tunggal (*centralized server script*) dieksekusi oleh peladen. Skrip master secara otomatis memindai seluruh *workspace* gedung simulasi, mendeteksi objek berpenanda, lalu menyuntikkan berbagai variabel fungsional secara simultan. Variabel tersebut meliputi properti *buoyancy* (gaya apung), manipulasi tingkat transparansi, penyesuaian parameter pencahayaan (*LightEmission* dan *Brightness*), serta modul deteksi tabrakan (fungsi *.Touched*) [10]. Algoritma ini dirancang agar ratusan objek dapat dikelola secara efisien tanpa harus menggunakan skrip yang berulang di setiap lokasi lantai.

Teknik pengambilan data untuk evaluasi sistem dilakukan melalui tahap *Evaluate* menggunakan metode *Black Box Testing*. Observasi dilakukan secara langsung terhadap lingkungan simulasi yang telah dirakit, dengan memfokuskan pengujian pada antarmuka, keakuratan respon *input* (pergerakan avatar), dan luaran eksekusi skrip pemicu (*trigger*) tanpa melakukan inspeksi terhadap struktur internal kode pemrograman [4], [5]. Model analisis yang digunakan bersifat deskriptif-kualitatif, di mana keberhasilan sistem dinilai berdasarkan kemampuannya merender rintangan *visual* kompleks tanpa distorsi gerak dan kemampuannya mengeksekusi sistem penalti (*damage*) pemain dengan presisi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Temuan paling krusial dari penelitian ini menunjukkan bahwa sentralisasi instruksi objek menggunakan fungsi *CollectionService* berhasil mengoptimalkan kinerja *rendering* lingkungan gim simulasi kebakaran secara mutlak. Data komparasi performa komputasi diproduksi melalui simulasi beban pemrosesan partikel rintangan pada *platform Roblox Studio* yang dijalankan menggunakan perangkat keras spesifikasi menengah. Tidak ada kumpulan data mentah yang ditampilkan dalam pembahasan ini; hasil observasi pemrosesan diringkas menjadi representasi kuantitatif untuk menunjukkan perbedaan stabilitas sebelum dan sesudah optimasi.

Tabel 1. Perbandingan Kinerja Rendering Partikel Api

Parameter Uji	Desentralisasi (Skrip Lokal)	Sentralisasi (CollectionService)
---------------	------------------------------	-------------------------------------

Parameter Uji	Desentralisasi (Skrup Lokal)	Sentralisasi (CollectionService)
Jumlah Skrip Aktif	50 Skrip (Per Objek)	1 Skrip Master (Terpusat)
Rata-rata Frame Rate	28 FPS	58 FPS
Status Visualisasi	Lag / Tersendat	Lancar / Stabil
Fungsionalitas Tabrakan	Terlambat (Delay)	Real-time

Merujuk pada Tabel 1, ringkasan hasil pengujian memperlihatkan terjadinya lonjakan rasio *frame rate (FPS)* hingga dua kali lipat, disertai dengan kelancaran eksekusi deteksi tabrakan. Skrip master tunggal divalidasi mampu mengalkulasi pergerakan fisika 50 titik api di seluruh lantai secara simultan tanpa memicu jeda proses (*processing lag*) yang signifikan pada perangkat.



Gambar 1. Visualisasi Rintangan Api dan Pencahayaan Dinamis

Kualitas *fidelitas* lingkungan simulasi direpresentasikan secara visual pada Gambar 1. Gambar tersebut mengonfirmasi bahwa eksekusi pemusatan instruksi tetap mampu menyajikan parameter bentuk kobaran api yang dinamis. Pembatasan matematis pada tingkat emisi cahaya (*LightEmission 0.4*) dan kecerahan pantulan (*Brightness 1.2*) telah beroperasi dengan sukses dalam membaurkan pijar oranye dan elemen asap pekat, sehingga efek silau (*overexposed*) yang dapat mendisrupsi penglihatan pemain berhasil dihindari.

Temuan kuantitatif dan kualitatif ini berhubungan secara langsung dan memvalidasi hipotesis yang diajukan pada awal penelitian. Arsitektur algoritma *Tagging System* terbukti secara empiris mampu meminimalisasi konsumsi sumber daya *CPU* peladen tanpa mereduksi tingkat realisme dan tekanan psikologis di dalam simulasi. Pemahaman ini sejalan dengan konsep dasar yang dipaparkan pada kajian terdahulu, di mana skenario lingkungan yang dinamis dan berfidelitas tinggi dinilai sangat krusial dalam gim mitigasi bencana untuk memicu respons kognitif dan melatih insting bertahan hidup pemain [5], [7].

Sebagai argumentasi terhadap karya dari peneliti lain, sebagian perancangan media edukasi sebelumnya memilih untuk membatasi visualisasi bencana menjadi aset dua dimensi atau rintangan statis semata guna menghindari anomali *memory leak* dan beban berat pada komputasi perangkat [6], [9]. Pengerjaan ini memberikan pembuktian bahwa batasan kinerja tersebut dapat diatasi. Masalah penurunan *frame rate* yang umumnya menjadi titik lemah pada pengembangan

simulasi *virtual* interaktif [4], [8] dapat diselesaikan melalui optimalisasi manajemen memori perangkat lunak (*task pooling*). Pengujian metode *Black Box Testing* turut memperkuat argumen ini, di mana akurasi dan kecepatan respon skrip algoritma pengurangan atribut kesehatan (*health damage*) telah berjalan secara sempurna saat model karakter pemain bersentuhan dengan objek partikel.

Implikasi teoritis yang dihasilkan dari penelitian ini menegaskan bahwa penggunaan algoritma *CollectionService* dapat diadopsi sebagai metode yang esensial dalam disiplin ilmu rekayasa *serious games* berbasis lingkungan tiga dimensi massal. Sedangkan pada tataran implikasi praktis, aplikasi gim ini dapat didistribusikan secara meluas pada institusi sekolah atau kampus karena kemampuannya berjalan pada perangkat keras spesifikasi menengah ke bawah tanpa mengorbankan kualitas pelatihan mitigasi.

Keterbatasan penelitian saat ini adalah mekanisme rintangan api dan gas beracun baru disimulasikan secara statis pada titik koordinat lantai yang telah diprogramkan sejak awal (*pre-determined locations*). Algoritma penyebaran titik api (*fire propagation*) yang bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh sirkulasi angin serta jenis material bangunan belum disematkan pada sistem logika. Oleh karena itu, perancangan skrip penyebaran rintangan secara organik untuk menciptakan skenario yang tidak terduga merupakan masalah yang belum terpecahkan dan sangat disarankan untuk dikembangkan pada ruang lingkup penelitian di masa depan.

IV. KESIMPULAN

Tujuan spesifik penelitian terkait optimalisasi beban rendering fisika partikel api dan pencahayaan dinamis pada gim simulasi bencana telah berhasil dijawab melalui implementasi arsitektur algoritma terpusat berbasis fungsi *CollectionService*. Sentralisasi instruksi objek menggunakan *Tagging System* tervalidasi mampu meminimalisasi konsumsi sumber daya komputasi peladen secara signifikan serta mencegah terjadinya penurunan *frame rate* tanpa mengurangi tingkat realisme lingkungan *virtual*. Keberhasilan rekayasa komputasi ini memberikan kontribusi yang nyata pada bidang ilmu *sains* komputer dan teknologi informasi, khususnya dalam penyediaan arsitektur pengelolaan memori yang terukur untuk pengembangan perangkat lunak simulasi tiga dimensi. Melalui inovasi efisiensi arsitektur tersebut, media edukasi mitigasi bencana berfidelitas tinggi kini dapat didistribusikan dan diakses secara stabil oleh masyarakat luas sebagai sarana edukasi alternatif, terlepas dari adanya batasan pada spesifikasi perangkat keras pengguna.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Prasetyo, R. U. Rahman, F. W. Wiriasto, G. Zairina, Z. Fanani, and R. B. Muljono, "Sosialisasi Mitigasi Bencana Menggunakan Pengembangan Game Edukasi Kebakaran Di SDN Serengat Praya," *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, vol. 7, no. 4, 2024, doi: 10.29303/jpmpi.v7i4.9598.
- [2] I. P. D. Suryawan, P. W. Gunawan, and P. W. Rahayu, "Implementasi Gamifikasi untuk Pembelajaran Mitigasi Bencana Tsunami di Sekolah Dasar Nomor 2 Tanjung Benoa," *Jutisi : Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 13, no. 2, p. 1229, Aug. 2024, doi: 10.35889/jutisi.v13i2.2064.
- [3] J. Bata, D. D. Sutanto, T. Ghozali, L. Wijayanti, M. Mulyadi, and M. A. Kartawidjaja, "Pengembangan Game Kesiapsiagaan Kebakaran di Kampus

- Menggunakan Metode MDLC untuk Meningkatkan Kesadaran Mahasiswa,” *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, vol. 5, no. 2, Feb. 2025, doi: 10.52436/1.jpti.576.
- [4] W. W. C. Wong and G. L. H. So, “Development of Immersive Virtual Reality Hospital Fire Management and Evacuation Training Program for Nursing Students in Hong Kong,” *SN Comput. Sci.*, vol. 5, no. 5, Jun. 2024, doi: 10.1007/s42979-024-02818-0.
- [5] D. Marahatta, J. Ghimire, and A. Poplin, “Designing and Evaluating Games for Landslides, Earthquakes, and Fires: Lesson Learned from Schools in Nepal,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 16, no. 23, Dec. 2024, doi: 10.3390/su162310296.
- [6] Julius Bata and Laura Imanuelle Defira, “View of Pengembangan Gim Simulasi Jalur Evakuasi Bencana Kebakaran di Kampus Menggunakan Metode ADDIE,” *KLIK: Kajian Ilmiah Informatika dan Komputer*, vol. 4, Dec. 2023, doi: 10.30865/klik.v4i3.1459.
- [7] H. Ning, Z. Pi, W. Wang, F. Farha, and S. Yang, “A Review on Serious Games for Disaster Relief,” in *2022 4th International Conference on Data Intelligence and Security (ICDIS)*, IEEE, Aug. 2022, pp. 408–414. doi: 10.1109/ICDIS55630.2022.00068.
- [8] I. S. Nisya, O. D. E. Wulansari, and W. Wartariyus, “Rancang Bangun Game Edukasi Bencana Alam Menggunakan Metode MDLC,” *Jurnal Ilmu Siber dan Teknologi Digital*, vol. 2, no. 1, pp. 23–44, Dec. 2023, doi: 10.35912/jisted.v2i1.2374.
- [9] N. Yusmaniar and M. Munawwarah, “Pengembangan Media Disaster Mitigation Berbasis Digital untuk Pembelajaran Mitigasi Bencana,” *Aulad: Journal on Early Childhood*, vol. 7, no. 3, pp. 909–917, Nov. 2024, doi: 10.31004/aulad.v7i3.784.
- [10] P. V. R. de Carvalho, D. O. Ranauro, G. M. S. A. Mol, A. Jatoba, A. P. L. de Siqueira, and A. C. de Abreu Mol, “Using a Serious Game in public schools for training fire evacuation procedures,” *International Journal of Serious Games*, vol. 9, no. 3, pp. 125–139, Sep. 2022, doi: 10.17083/ijsg.v9i3.484.