

Optimasi Kinerja Game 2D pada Platform Mobile dengan Rendering Terbatas

Andini Dwi Lestari¹, Eva Mirandha Nur Cahya², Khairun Najwa³, Retno Dwi Apriliana^{4*}

¹⁻⁴ Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Program Studi Manajemen, Universitas Mulia, Balikpapan, Indonesia

Email: ¹andinidwiriski2005@gmail.com, ²evamrndhaa@gmail.com, ³najwakhairun613@gmail.com,

⁴retnodwi0804@gmail.com

Abstrak—Abstrak ini menyajikan kajian literatur sistematis mengenai optimasi kinerja game 2D pada platform mobile dengan kemampuan rendering terbatas. Penelitian ini penting karena performa yang lancar dan efisiensi energi merupakan tantangan kritis dalam pengembangan game mobile. Tujuannya adalah mengidentifikasi strategi untuk mengatasi kendala pemuatan aset masif tanpa penurunan *frame rate* serta menyeimbangkan kualitas visual dengan konsumsi daya baterai. Metode yang digunakan adalah tinjauan sistematis terhadap literatur terkini (2021-2025). Hasil kajian menunjukkan bahwa kombinasi pendekatan seperti indeks bertingkat (*multilevel index*), *preloading* berbasis prediksi, *energy-aware design*, dan teknik caching khusus (seperti CatNca) secara sinergis mampu mempertahankan stabilitas performa di atas 30 FPS sekaligus mengoptimalkan efisiensi energi. Disimpulkan bahwa keseimbangan optimal dicapai melalui integrasi algoritma penjadwalan data cerdas, prediksi pergerakan, dan desain visual yang ekonomis terhadap sumber daya perangkat terbatas.

Kata Kunci: Optimasi kinerja; game 2D mobile; rendering terbatas; *energy-aware design*; indeks bertingkat.

Abstract—This abstract presents a systematic literature review on optimizing the performance of 2D games on mobile platforms with limited rendering capabilities. This research is important because smooth performance and energy efficiency are critical challenges in mobile game development. The goal is to identify strategies to overcome the constraints of massive asset loading without reducing frame rates and to balance visual quality with battery consumption. The method used is a systematic review of the latest literature (2021-2025). The results of the study show that a combination of approaches such as multilevel index, prediction-based preloading, energy-aware design, and specialized caching techniques (such as CatNca) can synergistically maintain performance stability above 30 FPS while optimizing energy efficiency. It is concluded that optimal balance is achieved through the integration of intelligent data scheduling algorithms, motion prediction, and resource-efficient visual design for limited device resources.

Keywords: Performance optimization; 2D mobile games; limited rendering; *energy-aware design*; multi-level indexing.

1. PENDAHULUAN

Optimasi kinerja game 2D pada platform mobile dengan rendering terbatas dimulai dengan pemilihan dimensi visual yang tepat, di mana format 2D secara inheren jauh lebih efisien dalam mengurangi beban kerja pengembangan dan tuntutan rendering dibandingkan dengan teknologi 3D atau VR (Santos Bartolomé & Van Gerven, 2025; Zhang et al., 2024). Penggunaan mesin game yang terlisensi sangat membantu dalam memastikan kompatibilitas dan optimasi alat untuk berbagai arsitektur perangkat keras, yang memungkinkan pengembang fokus pada inovasi daripada sekadar mekanisme dasar (Chia, 2022). Mengingat keterbatasan perangkat keras pada perangkat seluler, memuat seluruh data aset secara masif dalam satu waktu dapat menyebabkan penurunan performa atau jeda (*lag*), sehingga penerapan metode penjadwalan data sangat penting untuk menjaga efisiensi visualisasi tetap stabil (Zhang et al., 2024). Efisiensi ini dapat ditingkatkan secara signifikan melalui penggunaan struktur simbol hierarkis yang distilisasi (SHS) dan teknik rendering berbasis bobot warna (GFCR) yang meningkatkan penggunaan kembali data aset serta ketepatan waktu visual (Huang et al., 2024). Selain itu, pengelolaan cache melalui model akses stack dan penggunaan memori pool untuk gaya serta tekstur memungkinkan sistem memberikan respons interaktif secara real-time tanpa membebani memori secara berlebihan (Huang et al., 2024). Penggunaan indeks bertingkat (*multilevel index*) terbukti lebih stabil dan efisien dalam menjaga tingkat frame per detik (FPS) tetap di atas 30 dibandingkan dengan indeks quadtree standar, sehingga navigasi dan pergerakan dalam game tetap lancar (Zhang et al., 2024). Optimasi juga harus mencakup desain yang sadar energi (*energy-aware design*) untuk menghadapi kendala kapasitas baterai perangkat mobile, misalnya dengan mengadopsi skema warna yang lebih gelap atau model adaptif yang menyesuaikan

tingkat detail berdasarkan kecepatan interaksi agar penggunaan daya tetap ekonomis(Roth et al., 2024). Terakhir, mesin rendering yang mampu memproses tugas secara paralel memastikan bahwa kueri data dan pemrosesan tekstur tidak saling mengganggu, sehingga menghasilkan interaksi yang logis dan akurat meskipun dijalankan pada layar yang kecil(Huang et al., 2024).

Penelitian terdahulu dalam optimasi visualisasi pada platform mobile telah mencapai tahap di mana penggunaan mesin game (*game engine*) berlisensi seperti Unity atau Unreal menjadi standar untuk memastikan kompatibilitas dan optimasi alat terhadap berbagai arsitektur perangkat keras(Chia, 2022). State of the art saat ini menunjukkan bahwa efisiensi rendering pada perangkat dengan sumber daya terbatas dapat dicapai melalui penerapan indeks bertingkat (*multilevel index*) yang mampu menjaga stabilitas tingkat *frame per second* (FPS) di atas 30, dibandingkan dengan metode indeks *quadtree* standar yang sering menyebabkan jeda (*lag*) saat memuat data masif(Huang et al., 2024; Zhang et al., 2024). Selain itu, pengembangan teknologi terkini juga telah memperkenalkan model struktur simbol hierarkis yang distilisasi (SHS) dan teknik rendering berbasis bobot warna (GFCR) untuk meningkatkan penggunaan kembali (*reuse*) data aset serta ketepatan waktu visual dalam interaksi real-time(Huang et al., 2024). Dari sisi konsumsi daya, penelitian terbaru menekankan pentingnya desain yang sadar energi (*energy-aware design*) yang menyesuaikan skema warna dan kecerahan untuk memperpanjang masa pakai baterai perangkat mobile tanpa mengorbankan keterbacaan visual(Roth et al., 2024).

Meskipun kemajuan dalam teknik rendering 3D, AR, dan VR sangat pesat karena dorongan tren *metaverse*, terdapat sebuah celah penelitian (*research gap*) yang signifikan di mana optimasi khusus untuk game 2D sering kali dianggap sebagai pilihan yang sudah "secara inheren efisien" sehingga kurang mendapat perhatian dalam penerapan teknik optimasi tingkat lanjut(Chia, 2022; Santos Bartolomé & Van Gerven, 2025). Banyak studi lebih berfokus pada tantangan visualisasi 3D yang kompleks, sementara strategi untuk memaksimalkan performa game 2D pada perangkat mobile dengan kemampuan rendering yang sangat terbatas atau perangkat lama masih sangat jarang dieksplorasi secara mendalam(Chia, 2022; Dang et al., 2022; Zhang et al., 2024). Terdapat kebutuhan mendesak untuk mengkaji bagaimana model akses cache tingkat lanjut, seperti *Catalan Number-based Caching* (CatNCa) dan pemuatan dinamis berbasis grid (GridD), dapat diadaptasi khusus untuk ekosistem 2D guna meminimalkan beban memori(Huang et al., 2024). Oleh karena itu, studi mengenai optimasi kinerja game 2D pada platform mobile dengan rendering terbatas menjadi sangat krusial untuk menjamin pengalaman pengguna yang lancar melalui keseimbangan antara kualitas visual, stabilitas performa, dan efisiensi energi perangkat(Dang et al., 2022; Roth et al., 2024).

Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara mengatasi kendala keterbatasan perangkat keras pada platform mobile dalam memuat data aset yang masif tanpa menyebabkan penurunan tingkat bingkai (*frame rate*) atau jeda (*lag*) yang signifikan?
2. Bagaimana strategi rendering dapat dioptimalkan untuk menyeimbangkan antara kualitas visual yang presisi dengan keterbatasan kapasitas baterai (efisiensi energi) pada perangkat mobile?

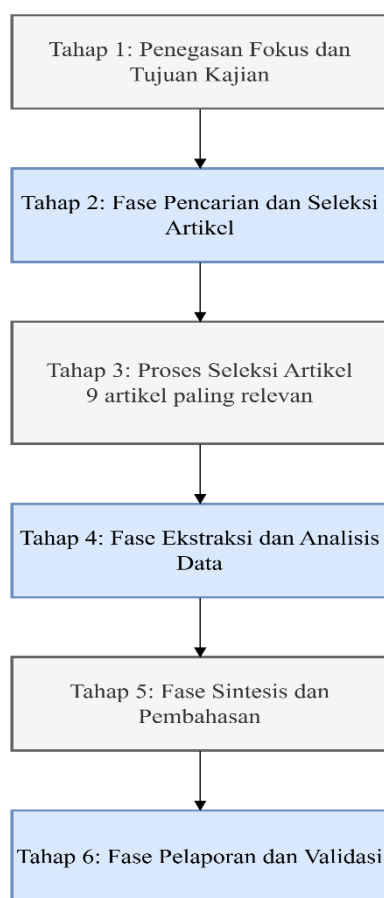
2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini dimulai dengan tahap penegasan fokus dan tujuan kajian. Pada tahap awal ini, ruang lingkup penelitian ditetapkan dengan jelas, mencakup perumusan pertanyaan panduan spesifik dan penentuan batasan studi untuk memandu keseluruhan proses kajian. Berikutnya, penelitian memasuki fase pencarian dan seleksi artikel. Tahap ini melibatkan pelaksanaan pencarian literatur yang sistematis pada basis data Taylor & Francis, menggunakan serangkaian kata kunci yang telah ditetapkan seperti Game Engine Optimization dan Mobile Graphics Rendering. Pencarian dibatasi pada publikasi dalam rentang tahun 2021 hingga 2025 untuk memastikan relevansi temuan dengan perkembangan terkini.

Proses seleksi artikel kemudian dilakukan secara bertahap untuk menyaring hasil pencarian. Tahap ini menghasilkan 9 artikel yang dinilai paling relevan dan memenuhi kriteria kelayakan untuk dianalisis lebih lanjut, yang menjadi landasan empiris utama kajian. Selanjutnya, penelitian beralih ke fase ekstraksi dan analisis data. Pada tahap ini, informasi kunci dari setiap artikel diekstraksi secara terstruktur menggunakan instrumen yang telah dirancang. Data yang terkumpul kemudian

dianalisis secara tematik untuk mengidentifikasi pola, teknik, strategi, dan temuan yang berulang atau saling terkait dalam literatur. Tahap sintesis dan pembahasan kemudian dilakukan untuk mengintegrasikan dan menafsirkan temuan analisis. Berbagai pendekatan dan solusi yang ditemukan dalam literatur dibandingkan, dikontraskan, dan dikonsolidasikan untuk merumuskan jawaban yang komprehensif terhadap rumusan masalah penelitian, sekaligus mengidentifikasi kesenjangan pengetahuan yang ada.

Metodologi diakhiri dengan fase pelaporan dan validasi. Pada tahap final ini, seluruh temuan dan kesimpulan kajian didokumentasikan dalam laporan yang koheren. Validasi dilakukan melalui mekanisme seperti diskusi dengan rekan sejawat atau pemeriksaan oleh pakar untuk memastikan ketepatan, kredibilitas, dan keandalan interpretasi serta sintesis yang dihasilkan.



Gambar 1. Tahapan Metodologi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Mengatasi Keterbatasan Perangkat Keras Mobile dalam Memuat Aset Masif dengan Mempertahankan Kinerja Render

Mengatasi kendala keterbatasan perangkat keras pada platform mobile dalam mengelola data aset yang masif menuntut pendekatan teknis yang terintegrasi, dimulai dari pemilihan dimensi visual di mana format 2D secara teknis jauh lebih efisien dalam mengurangi beban kerja pengembangan dan tuntutan perangkat keras dibandingkan teknologi 3D atau XR (Chia, 2022; de Paula, 2025; Huang et al., 2024; Santos Bartolomé & Van Gerven, 2025). Fondasi utama dalam strategi ini adalah penggunaan mesin game berlisensi seperti Unity atau Unreal yang menjamin kompatibilitas serta optimasi otomatis terhadap berbagai arsitektur perangkat keras yang terbatas (Ajayi et al., 2024; Chia, 2022; Koszolkó & Wilson, 2025). Untuk menjaga stabilitas performa agar tingkat bingkai

(FPS) tetap berada di atas 30 frame per detik, penerapan metode indeks bertingkat (*multilevel index*) terbukti jauh lebih stabil dibandingkan indeks *quadtree* standar saat memuat objek atau aset spasial yang masif (Zhang et al., 2024). Kecepatan akses data ditingkatkan secara spesifik melalui model pemuatan cache dinamis berbasis grid (Grid) dan Catalan Number-based Caching (CatNCA) yang memanfaatkan struktur *stack* LIFO untuk mencapai kompleksitas waktu linear $O(n)$ dalam pemrosesan data (Huang et al., 2024).

Optimasi lebih lanjut dicapai melalui integrasi teknologi prediksi seperti Kalman Filter untuk memprediksi rotasi perangkat atau *viewing frustum*, yang memungkinkan sistem melakukan pemuatan awal (*preloading*) aset sekitar 200 ms lebih awal sebelum benar-benar dibutuhkan oleh mata pengguna (Dang et al., 2022). Pendekatan prediktif ini secara efektif mengurangi tekanan komputasi pada GPU dan CPU, serta mencegah efek gambar pecah atau *stuttering* akibat pergerakan interaksi yang tiba-tiba (Dang et al., 2022; Huang et al., 2024). Penggunaan Struktur Simbol Hierarkis yang Distilasi (SHS) dan teknik rendering berbasis bobot warna (GFCR) juga memainkan peran krusial dalam memaksimalkan penggunaan kembali (*reuse*) cache gaya serta tekstur di memori perangkat yang terbatas (Huang et al., 2024). Selain itu, strategi Adaptive Hierarchy-weighted caching (AHie) secara cerdas memprioritaskan retensi data berdasarkan kedekatan skala dan jangkauan visual agar memori tidak terbebani oleh detail yang tidak relevan (Huang et al., 2024). Terakhir, mesin rendering harus mampu memproses tugas secara paralel untuk memastikan kueri data, transformasi koordinat, dan pemrosesan tekstur tidak saling menghambat selama interaksi real-time berlangsung di layar kecil (Huang et al., 2024).

3.2 Optimasi Rendering untuk Keseimbangan Kualitas Visual dan Efisiensi Energi Pada Perangkat Mobile

Optimasi strategi rendering untuk menyeimbangkan kualitas visual yang presisi dengan keterbatasan energi pada perangkat mobile dapat dilakukan melalui pendekatan desain sadar energi (*energy-aware design*), yaitu proses pengambilan keputusan desain yang secara sengaja menyeimbangkan kualitas pengalaman pengguna dengan output daya perangkat guna memperpanjang masa pakai baterai (Roth et al., 2024). Salah satu teknik utama adalah penggunaan skema warna adaptif dan basemap berbasis citra atau mode gelap, yang terbukti lebih hemat energi pada layar jenis OLED atau AMOLED karena meminimalkan jumlah piksel yang aktif secara intensif dibandingkan basemap vektor yang terang (Roth et al., 2024). Selain itu, penerapan manajemen *Level of Detail* (LOD) dan generalisasi fitur secara cerdas memungkinkan sistem untuk menyederhanakan kompleksitas geometri berdasarkan skala atau jarak pandang, sehingga mengurangi beban kerja unit pemrosesan grafis (GPU) tanpa mengorbankan keterbacaan informasi (Roth et al., 2024). Strategi ini diperkuat dengan pemanfaatan Region of Interest (ROI) yang didukung oleh teknologi pelacakan mata (*eye-tracking*), di mana sumber daya komputasi difokuskan untuk me-render area yang paling diperhatikan pengguna dengan presisi tinggi, sementara detail di area periferal dikurangi (Dang et al., 2022).

Untuk menjaga stabilitas performa sistem dan efisiensi daya, penggunaan indeks data bertingkat (*multilevel index*) dan akses cache berbasis Bilangan Catalan (CatNCA) sangat krusial dalam memastikan kueri data berjalan dengan kompleksitas waktu linear $O(n)$, sehingga menghindari jeda sistem yang menguras energi (Huang et al., 2024; Zhang et al., 2024). Efisiensi perangkat keras juga dapat dioptimalkan melalui integrasi Kalman Filter untuk memprediksi rotasi *viewing frustum*, yang memungkinkan pemuatan aset secara proaktif sekitar 200 ms lebih awal sebelum benar-benar dibutuhkan oleh mata pengguna guna mengurangi tekanan komputasi mendadak (Dang et al., 2022). Dari sisi kognitif, penerapan visualisasi yang cepat terbaca (*glanceable visualization*) yang dirancang untuk dipahami dalam waktu kurang dari lima detik dapat secara efektif meminimalkan waktu aktif layar yang merupakan salah satu konsumen energi terbesar pada perangkat seluler (Roth et al., 2024). Terakhir, penggunaan umpan balik multimodal seperti sinyal audio atau haptik dapat menggantikan atau melengkapi informasi visual yang kompleks, sehingga mengurangi beban rendering keseluruhan sambil tetap menjaga inklusivitas dan kegunaan aplikasi pada platform mobile yang terbatas (Roth et al., 2024).

4. KESIMPULAN

Optimasi kinerja game 2D pada platform mobile dengan rendering terbatas secara fundamental didasarkan pada efisiensi dimensi visual, di mana format 2D secara teknis jauh lebih ringan dalam mengurangi beban kerja pengembangan dan tuntutan perangkat keras dibandingkan teknologi 3D atau XR. Penggunaan mesin game terlisensi seperti Unity atau Unreal bertindak sebagai infrastruktur penting yang memastikan kompatibilitas serta optimasi otomatis terhadap berbagai arsitektur perangkat keras yang terbatas. Untuk mengatasi kendala pemuatan data masif tanpa menyebabkan penurunan tingkat bingkai (*frame rate*), penerapan metode indeks bertingkat (*multilevel index*) terbukti jauh lebih stabil dibandingkan indeks *quadtree* standar dalam menjaga performa tetap lancar dengan tingkat bingkai di atas 30 FPS. Kecepatan akses data ditingkatkan secara spesifik melalui model pemuatan cache dinamis berbasis grid (Grid) dan Catalan Number-based Caching (CatNCA) yang memanfaatkan struktur *stack* LIFO untuk mencapai kompleksitas waktu linear $O(n)$ dalam pemrosesan data. Efisiensi ini diperkuat dengan integrasi Kalman Filter untuk memprediksi rotasi perangkat atau *viewing frustum*, memungkinkan sistem melakukan pemuatan awal (*preloading*) aset sekitar 200 ms lebih awal sebelum dibutuhkan guna menghilangkan efek gambar pecah atau *stuttering* saat pemain bergerak cepat.

Penggunaan Struktur Simbol Hierarkis yang Distilasi (SHS) dan teknik rendering berbasis bobot warna (GFCR) juga memainkan peran krusial dalam memaksimalkan penggunaan kembali (*reuse*) cache gaya serta tekstur di memori perangkat. Sebagai jawaban atas kendala kapasitas baterai pada perangkat mobile, strategi rendering harus mengadopsi pendekatan desain sadar energi (*energy-aware design*) yang secara sengaja menyeimbangkan kualitas pengalaman pengguna dengan output daya perangkat. Hal ini diimplementasikan melalui penggunaan skema warna adaptif atau mode gelap yang secara inheren menghemat energi pada layar jenis OLED atau AMOLED tanpa merusak hubungan semantik simbol pada peta atau antarmuka game. Selain itu, penerapan visualisasi yang cepat terbaca (*glanceable visualization*) membantu meminimalkan waktu aktif layar yang intensif daya dengan menyajikan informasi yang dapat dipahami sepenuhnya dalam waktu kurang dari lima detik. Secara keseluruhan, optimasi kinerja pada platform dengan rendering terbatas mencapai keseimbangan antara presisi visual dan efisiensi fisik melalui sinergi antara algoritma penjadwalan data yang cerdas, teknologi prediksi pergerakan, dan desain visual yang ekonomis terhadap sumber daya perangkat.

REFERENCES

- Ajayi, J., Adetiba, E., Ifijeh, A. H., Abayomi, A., Wejin, J., Thakur, S., & Moyo, S. (2024). LogicHouse-v1: a digital game-based learning tool for enhanced teaching of digital electronics in higher education institutions. *Cogent Engineering*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2322814>
- Chia, A. (2022). The metaverse, but not the way you think: game engines and automation beyond game development. *Critical Studies in Media Communication*, 39(3), 191–200. <https://doi.org/10.1080/15295036.2022.2080850>
- Dang, P., Zhu, J., Wu, J., Li, W., You, J., Fu, L., Shi, Y., & Gong, Y. (2022). A real 3D scene rendering optimization method based on region of interest and viewing frustum prediction in virtual reality. *International Journal of Digital Earth*, 15(1), 1081–1100. <https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2080878>
- de Paula, B. (2025). Intercultural knowledges and practices in postgraduate game design and making education: insights from a UK-based degree. *Media Practice and Education*, 26(4), 403–420. <https://doi.org/10.1080/25741136.2024.2378394>
- Huang, K., Liu, D., Chen, T., Wang, Y., Wang, C., & Shi, W. (2024). Real-time map rendering and interaction: a stylized hierarchical symbol model. *International Journal of Digital Earth*, 17(1). <https://doi.org/10.1080/17538947.2024.2367728>
- Koszolko, M. K., & Wilson, N. (2025). Idiosyncratic approaches to electronic music-making through mobile technologies. *Media Practice and Education*, 1136, 1–15. <https://doi.org/10.1080/25741136.2025.2481530>
- Roth, R. E., Çöltekin, A., Delazari, L., Denney, B., Mendonça, A., Ricker, B. A., Shen, J., Stachoň, Z., & Wu, M. (2024). Making maps & visualizations for mobile devices: A research agenda for mobile-first and responsive cartographic design. *Journal of Location Based Services*, 18(4), 408–478. <https://doi.org/10.1080/17489725.2023.2251423>

- Santos Bartolomé, P., & Van Gerven, T. (2025). 2DVLE: a simulation game for an active learning introduction to vapour–liquid equilibrium. *European Journal of Engineering Education*, 50(1), 230–252. <https://doi.org/10.1080/03043797.2023.2290028>
- Zhang, X., Guo, X., Yu, H., Guo, Y., Song, L., & Zhao, X. (2024). 3D visualisation method for urban road waterlogging based on mobile augmented reality. *International Journal of Digital Earth*, 17(1), 1–18. <https://doi.org/10.1080/17538947.2024.2378823>