Jurnal Sains dan Edukasi Sains
Vol. 9, No. 2, Agustus 2026: 87–95
https://doi.org/10.24246/juses.v9i2p87-95

Optimasi penggunaan baterai menggunakan *mesh simplification* pada aplikasi *Marker-Based Augmented Reality*

Elia A. Y. Syalom[1], Gatot Tri Pranoto[2*], Yaddarabullah[1]

[1]Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains Teknik Desain, Universitas Trilogi, Kalibata, Jakarta 12760
[2]Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Sains Teknik Desain, Universitas Trilogi, Kalibata, Jakarta 12760

[*]Email korespondensi: gatot.pranoto@trilogi.ac.id

Diterima: 27 April 2026; **Direvisi**: 7 Juli 2026; **Disetujui**: 20 Agustus 2026; **Diterbitkan**: 24 Agustus 2026

ABSTRAK

Teknologi *Augmented Reality* (AR) telah banyak dimanfaatkan sebagai media pembelajaran interaktif karena mampu menggabungkan objek virtual dengan lingkungan nyata secara *real-time*. Namun, aplikasi AR berbasis *marker* yang dikembangkan menggunakan *Unity* umumnya memiliki konsumsi daya baterai yang tinggi akibat proses *rendering* objek tiga dimensi yang kompleks. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan baterai pada aplikasi AR pembelajaran cerita penciptaan berbasis *marker* melalui penerapan teknik *mesh simplification*. Aplikasi dikembangkan menggunakan *Unity* dan *Vuforia SDK* dengan enam aset objek 3D yang merepresentasikan tahapan penciptaan. Proses optimasi dilakukan dengan mengurangi kompleksitas *mesh* melalui teknik *mesh decimation* sehingga jumlah *vertices* dan *triangles* pada setiap objek berkurang tanpa mengubah bentuk visual utama. Evaluasi dilakukan menggunakan metode eksperimen komparatif dengan membandingkan aplikasi sebelum dan sesudah optimasi berdasarkan parameter konsumsi baterai, suhu perangkat, dan *frame rate* (FPS). Hasil pengujian selama 30 menit menunjukkan bahwa aplikasi yang telah dioptimasi menurunkan konsumsi baterai dari 23% menjadi 15%, meningkatkan *frame rate* dari sekitar 9 FPS menjadi 27–30 FPS, serta menurunkan suhu maksimum perangkat dari 61°C menjadi 56°C. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan *mesh simplification* mampu meningkatkan efisiensi energi sekaligus menjaga performa aplikasi AR pada perangkat Android.

Kata-kata kunci: *Augmented Reality; Marker-Based AR; Media pembelajaran; Mesh simplification; Optimasi baterai*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *Augmented Reality* (AR) telah mendorong transformasi media pembelajaran melalui integrasi objek virtual tiga dimensi dengan lingkungan nyata secara *real-time*. Kemampuan tersebut memungkinkan penyampaian materi menjadi lebih interaktif, imersif, dan kontekstual sehingga mampu meningkatkan pemahaman konsep yang bersifat abstrak. Berbagai penelitian melaporkan bahwa penerapan AR memberikan dampak positif terhadap keterlibatan pengguna, motivasi belajar, dan efektivitas penyampaian materi pada berbagai jenjang pendidikan (Hartanti & Kurniawan, 2022; Pujakesuma et al., 2024). Perkembangan perangkat lunak seperti *Unity* dan *Vuforia* turut mempercepat implementasi aplikasi AR berbasis *marker* pada perangkat Android karena mampu menyediakan proses deteksi *marker* dan *real-time rendering* objek tiga dimensi secara efisien. Pendekatan ini telah banyak dimanfaatkan pada aplikasi edukasi, simulasi, maupun visualisasi interaktif karena relatif mudah dikembangkan dan kompatibel dengan berbagai jenis perangkat bergerak (Simon, 2023; Sonita & Susanto, 2022).

Meskipun menawarkan berbagai keunggulan, implementasi AR pada perangkat bergerak masih menghadapi tantangan berupa tingginya kebutuhan komputasi selama proses *real-time rendering*. Model tiga dimensi dengan kompleksitas geometris yang tinggi menyebabkan peningkatan beban kerja CPU dan GPU sehingga mengakibatkan penurunan *frame rate*, peningkatan suhu perangkat, serta konsumsi daya baterai yang lebih besar. Kondisi tersebut menjadi salah satu faktor yang membatasi penggunaan aplikasi AR dalam durasi yang panjang, khususnya pada perangkat Android dengan spesifikasi menengah ke bawah(Na & Lee, 2024; Sahu et al., 2025; Wang et al., 2022).

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi grafis aplikasi AR, di antaranya *Level of Detail* (LOD), *mesh simplification*, *mesh decimation*, dan *multi-resolution rendering*. Teknik-teknik

tersebut bertujuan mengurangi kompleksitas model tiga dimensi melalui penyederhanaan jumlah *vertices* dan *triangles* tanpa menghilangkan karakteristik visual utama objek. Penerapan optimasi tersebut terbukti mampu menurunkan beban *rendering*, mengurangi penggunaan memori grafis, serta meningkatkan performa aplikasi pada berbagai lingkungan AR (Arige et al., 2023; Boutsi et al., 2023; Syaputra & Widiyanto, 2020).

Selain optimasi grafis, beberapa penelitian juga mengembangkan pendekatan lain untuk meningkatkan kualitas visualisasi objek tiga dimensi, seperti optimasi model 3D, rekonstruksi objek berbasis *multi-view images*, dan peningkatan kualitas pengalaman pengguna (*Quality of Experience*) pada lingkungan AR. Pendekatan tersebut berhasil meningkatkan kualitas visual serta akurasi representasi objek, namun sebagian besar masih berorientasi pada kualitas tampilan dan pengalaman pengguna dibandingkan efisiensi penggunaan sumber daya perangkat (Nguyen et al., 2023; Paul et al., 2025; Riwinoto & Nugroho, 2024). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa peningkatan akurasi pelacakan (*tracking*) dan stabilitas visual menjadi aspek penting dalam pengembangan aplikasi AR modern. Penggunaan algoritma pelacakan yang lebih akurat mampu meningkatkan pengalaman pengguna, namun sering kali diikuti dengan meningkatnya kebutuhan komputasi sehingga optimasi grafis tetap diperlukan untuk menjaga keseimbangan antara kualitas visual dan performa sistem secara keseluruhan (Atikah et al., 2023; Martin-Gomez et al., 2024).

Berdasarkan kajian tersebut, dapat disimpulkan bahwa penelitian sebelumnya lebih banyak berfokus pada peningkatan kualitas visual, rekonstruksi objek, *tracking*, maupun pengalaman pengguna, sedangkan kajian yang secara komprehensif mengevaluasi dampak penerapan *mesh simplification* terhadap konsumsi daya baterai, *frame rate*, dan suhu perangkat pada aplikasi *marker-based Augmented Reality* masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan penerapan teknik *mesh simplification* pada aplikasi AR berbasis *marker* untuk mengurangi kompleksitas geometris objek tiga dimensi sehingga beban *rendering* dapat ditekan tanpa mengurangi kualitas visual utama. Kontribusi penelitian ini terletak pada evaluasi kuantitatif terhadap efisiensi energi melalui perbandingan konsumsi baterai, *frame rate*, dan suhu perangkat sebelum dan sesudah optimasi, sehingga diharapkan dapat menjadi alternatif strategi optimasi grafis bagi pengembangan aplikasi AR pada perangkat Android dengan keterbatasan sumber daya.

EKSPERIMEN

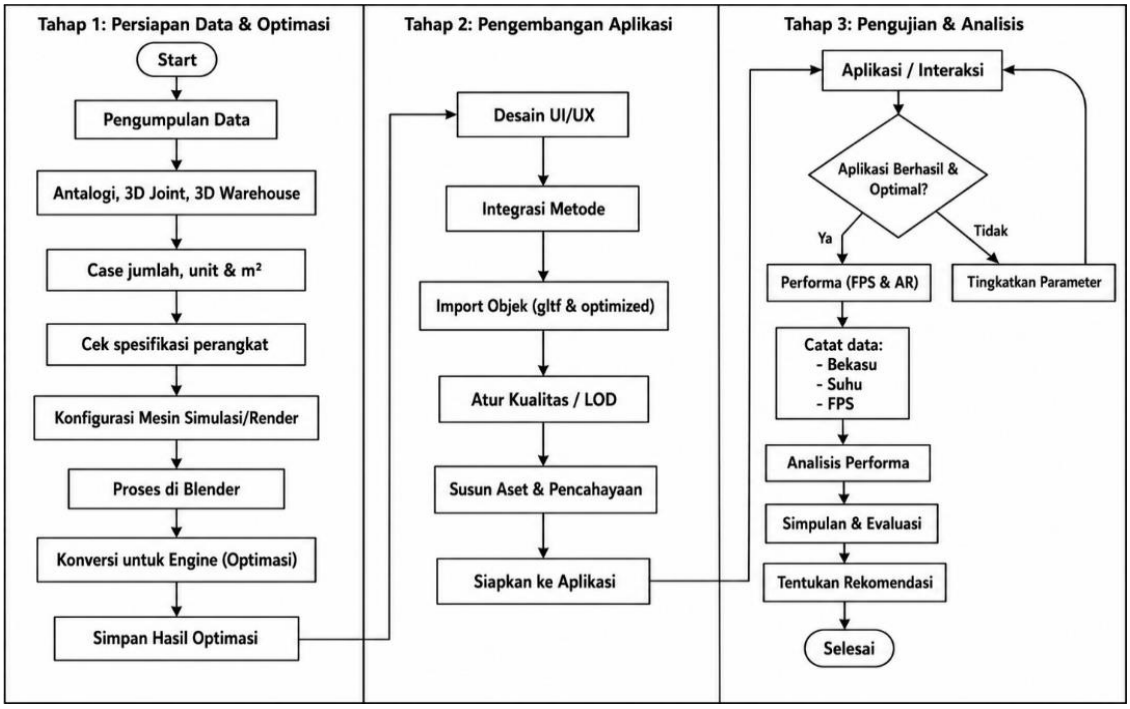
Penelitian ini menggunakan metode eksperimental komparatif untuk mengevaluasi pengaruh penerapan teknik optimasi terhadap efisiensi konsumsi daya baterai pada aplikasi AR berbasis *marker*. Metode ini memungkinkan perbandingan langsung antara performa aplikasi sebelum dan sesudah optimasi dalam kondisi pengujian yang sama (Rahmatika et al., 2023). Metode *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC) dipilih karena sesuai untuk pengembangan aplikasi pembelajaran berbasis multimedia yang mengintegrasikan teks, gambar, audio, animasi, dan objek tiga dimensi. Penerapan metode MDLC pada pengembangan media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* telah terbukti efektif dalam menghasilkan aplikasi pembelajaran interaktif yang mampu meningkatkan empati dan keterlibatan anak usia dini melalui visualisasi objek 3D dan interaksi langsung dengan pengguna. Pengujian aplikasi dilakukan pada perangkat Android dengan spesifikasi yang sama untuk menjaga konsistensi hasil. Parameter pengujian yang diamati meliputi konsumsi daya baterai, suhu perangkat, dan *Frame Rate* (FPS), karena parameter tersebut mampu merepresentasikan efisiensi energi dan stabilitas performa aplikasi AR pada perangkat *mobile* (Arige et al., 2023). Secara keseluruhan, tahapan penelitian meliputi persiapan data dan optimasi, pengembangan aplikasi, serta pengujian dan analisis performa sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

Pengumpulan Data

Objek riset yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas enam aset 3D yang merepresentasikan tahapan penciptaan (lihat Tabel 1). Setiap aset dirancang sebagai elemen visual utama dalam aplikasi AR dan digunakan sebagai objek pengujian dalam proses optimasi serta evaluasi performa aplikasi.

Tabel 1. Objek riset

No	Nama objek	Deskripsi
1	Hari pertama	Penciptaan terang dan gelap sebagai awal siang dan malam.
2	Hari kedua	Pembentukan cakrawala yang memisahkan air atas dan bawah.
3	Hari ketiga	Daratan, lautan, dan tumbuhan sebagai awal kehidupan.
4	Hari keempat	Matahari, bulan, dan bintang sebagai pengatur waktu.
5	Hari kelima	Makhluk air dan burung sebagai kehidupan bergerak.
6	Hari keenam	Binatang darat dan manusia sebagai ciptaan terakhir.



Gambar 1. *Flowchart* alur penelitian

Perancangan Aplikasi

Perancangan aplikasi dilakukan setelah tahap analisis kebutuhan dan studi literatur sebagai dasar implementasi aplikasi AR berbasis *marker*. Aplikasi dirancang sebagai media pembelajaran interaktif yang menampilkan cerita penciptaan melalui objek 3D dan dikembangkan dalam dua versi, yaitu tanpa optimasi dan dengan penerapan teknik *mesh simplification*. Pengembangan dilakukan menggunakan *Unity* sebagai *game engine* utama dengan dukungan *Vuforia SDK* untuk deteksi *marker* dan pemanggilan objek 3D secara *real-time*. Metode *marker-based* dipilih karena stabil dan mudah digunakan dalam konteks pembelajaran anak. Untuk menjaga keseimbangan antara kualitas visual dan efisiensi energi, resolusi tampilan 720p diterapkan agar aplikasi dapat berjalan optimal pada perangkat Android dengan spesifikasi menengah ke bawah.

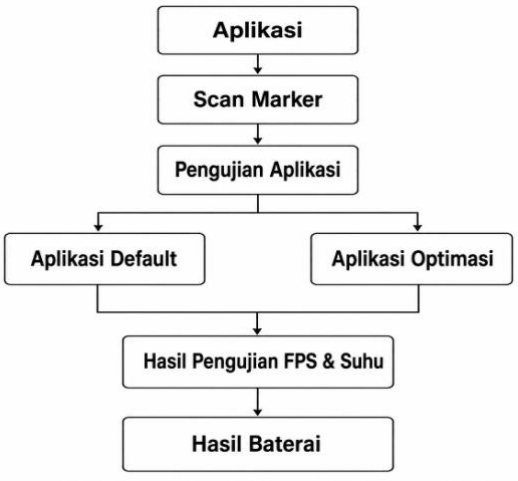
Konfigurasi *Mesh Simplification*

Konfigurasi *mesh simplification* dilakukan sebagai bagian dari proses optimasi grafis untuk mengurangi kompleksitas geometris objek tiga dimensi yang digunakan dalam aplikasi AR. Kompleksitas *mesh* yang tinggi, khususnya jumlah *vertices* dan *triangles*, meningkatkan beban proses *rendering* sehingga berdampak pada konsumsi daya baterai dan performa aplikasi pada perangkat bergerak. Pada penelitian ini, proses *mesh simplification* dilakukan menggunakan perangkat lunak *Blender* dengan memanfaatkan *Decimate Modifier*. Teknik ini bekerja dengan mengurangi jumlah poligon (*triangles*) dan *vertices* pada model tiga dimensi tanpa menghilangkan bentuk visual utama objek. Proses optimasi dilakukan secara bertahap terhadap setiap aset 3D dengan menyesuaikan tingkat penyederhanaan hingga diperoleh keseimbangan antara kualitas visual objek dan performa aplikasi. Setelah proses optimasi selesai, model hasil penyederhanaan diekspor kembali ke format yang kompatibel dengan *Unity* dan digunakan untuk menggantikan model asli pada aplikasi. Keberhasilan proses *mesh simplification* dievaluasi berdasarkan perubahan jumlah *vertices* dan *triangles* pada setiap aset, kemudian dianalisis pengaruhnya terhadap FPS, konsumsi daya baterai, dan suhu perangkat selama aplikasi dijalankan. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi tidak hanya terhadap efektivitas penyederhanaan model tiga dimensi, tetapi juga terhadap peningkatan efisiensi energi dan performa aplikasi secara keseluruhan.

Pengujian Aplikasi

Pengujian aplikasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh penerapan *mesh simplification* terhadap konsumsi daya baterai dan performa aplikasi AR. Setiap versi aplikasi, yaitu versi tanpa optimasi dan versi teroptimasi, dijalankan selama 30 menit dalam kondisi pengujian yang sama, meliputi pengaturan kecerahan layar dan koneksi jaringan. Proses pengujian, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, dimulai dari

pemindaian *marker* menggunakan kamera perangkat hingga objek 3D ditampilkan secara *real-time*, kemudian dilakukan pemantauan performa aplikasi selama penggunaan berlangsung. Parameter pengujian yang digunakan meliputi FPS, konsumsi daya baterai, dan suhu perangkat, sebagaimana dirangkum pada Tabel 2.



Gambar 2. Pengujian aplikasi

Tabel 2. Parameter Pengujian

No	Parameter	Deskripsi
1	FPS	Mengukur kelancaran visual selama aplikasi berjalan.
2	Konsumsi daya baterai	Mengukur persentase penurunan kapasitas baterai selama aplikasi dijalankan.
3	Suhu	Mengukur berapa suhu yang di hasilkan saat aplikasi digunakan.

HASIL DAN BAHASAN

Hasil Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan enam aset 3D utama yang merepresentasikan urutan penciptaan dalam enam hari sebagai objek visual pada aplikasi AR berbasis *marker*. Aset tersebut menampilkan visualisasi penciptaan secara bertahap dan digunakan sebagai konten utama dalam aplikasi. Seluruh aset 3D diperoleh dari *Unity Asset Store*, kemudian disesuaikan dan diintegrasikan ke dalam *Unity* versi 6 (6000.0.27f1) dengan dukungan *plugin Vuforia* agar objek dapat ditampilkan secara *real-time* saat *marker* dipindai. Pengujian performa aplikasi dilakukan dengan mengamati parameter FPS, konsumsi daya baterai, dan suhu perangkat untuk menilai kinerja, stabilitas, serta efisiensi aplikasi selama penggunaan objek 3D secara berkelanjutan. Kualitas dan kompleksitas aset 3D menjadi faktor penting karena berpengaruh langsung terhadap proses *rendering* dan penggunaan sumber daya perangkat.

Hasil Perancangan Aplikasi AR

Tahap perancangan aplikasi AR dilakukan menggunakan *Unity* 6 (6000.0.27f1) dengan dukungan *Vuforia* sebagai sistem pendeteksi *marker* untuk menghasilkan aplikasi edukasi interaktif berbasis Android. Perancangan mencakup penyusunan *scene* utama yang terdiri atas *AR Camera*, *Image Target*, dan objek 3D penciptaan yang ditampilkan secara presisi saat *marker* dipindai.



Gambar 3. Tampilan ikon aplikasi



Gambar 4. Tampilan menu utama



Gambar 5. Tampilan "About"

Antarmuka aplikasi dirancang sederhana dengan menu navigasi dasar untuk memudahkan penggunaan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3–5 yang masing-masing menampilkan ikon aplikasi, menu utama, dan halaman "About". Setiap aset 3D diatur menggunakan pencahayaan *directional light* dan disimpan dalam bentuk *prefab* untuk mempermudah pengelolaan. Aplikasi dikembangkan dalam dua versi, yaitu versi tanpa optimasi dan versi teroptimasi menggunakan teknik *mesh simplification*, yang selanjutnya dibangun menjadi berkas *.apk* untuk keperluan pengujian performa dan konsumsi sumber daya.

Hasil Konfigurasi Tris dan Verts dengan Mesh Simplification

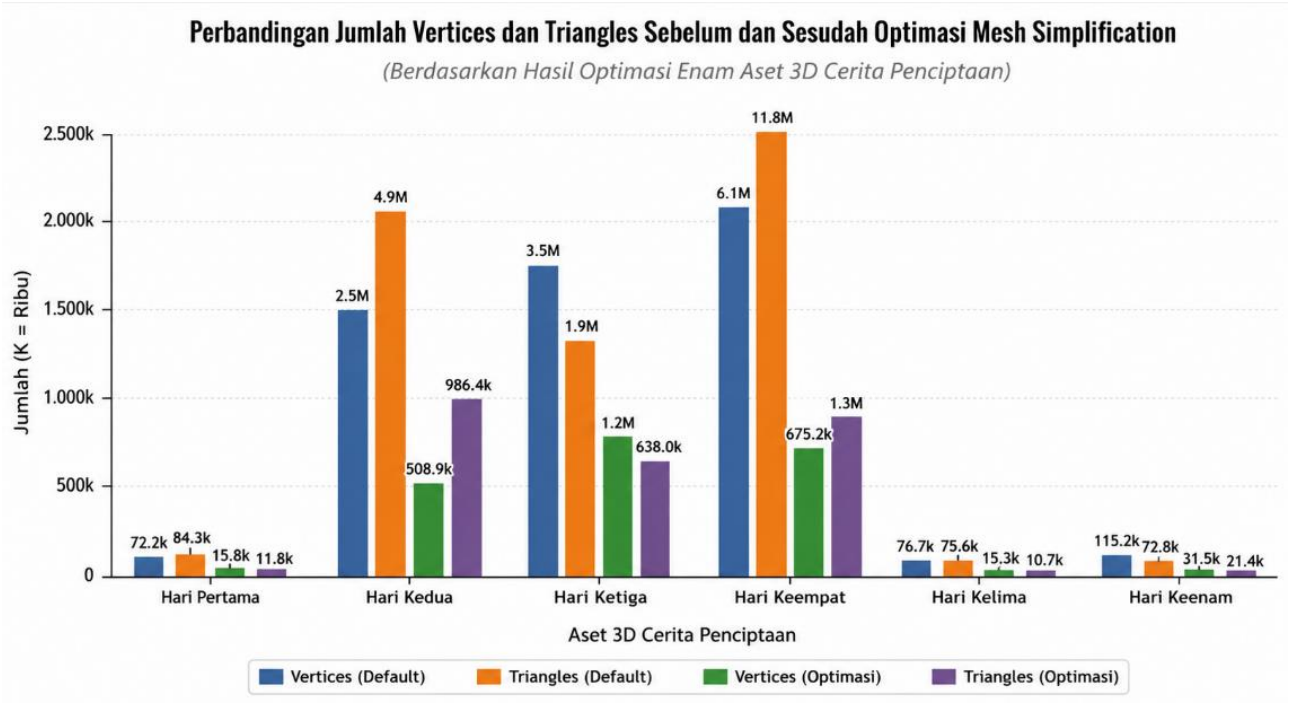
Dalam pemodelan objek 3D, *vertices* (verts) merupakan titik-titik penyusun geometri yang membentuk struktur dasar suatu objek, sedangkan *triangles* (tris) merupakan bidang segitiga yang terbentuk dari beberapa *vertices* dan digunakan untuk membentuk permukaan objek 3D. Jumlah *vertices* dan *triangles* menunjukkan tingkat kompleksitas geometris suatu model dan berpengaruh terhadap beban komputasi saat objek diproses dan dirender oleh perangkat. Semakin banyak jumlah *vertices* dan *triangles*, semakin kompleks geometri model sehingga semakin besar pula sumber daya komputasi yang diperlukan. Oleh karena itu, kedua parameter tersebut digunakan untuk membandingkan kompleksitas objek sebelum dan sesudah proses *mesh simplification*.

Pada tahap ini dilakukan proses *mesh simplification* terhadap seluruh aset 3D untuk mengurangi jumlah *triangles* dan *vertices* guna menekan beban komputasi dan penggunaan memori aplikasi. Proses optimasi dilakukan menggunakan *Blender* dengan menerapkan tingkat reduksi *mesh* tertentu pada setiap model. Penyederhanaan geometri dilakukan dengan tetap mempertahankan bentuk visual utama objek agar aset tetap representatif dan dapat ditampilkan dengan jelas dalam lingkungan AR. Setiap objek tiga dimensi terlebih dahulu dianalisis berdasarkan jumlah *vertices* dan *triangles* sebelum optimasi, kemudian dibandingkan dengan jumlah setelah proses *mesh simplification*. Perubahan jumlah kedua parameter tersebut menjadi dasar untuk mengevaluasi tingkat pengurangan kompleksitas geometris pada aset 3D.

Tabel 3. Hasil tris dan verts

No	Nama Objek	Sumber	Jumlah Vertices (Default)	Jumlah Triangle (Default)	Jumlah Vertices (Optimasi)	Jumlah Triangles (Optimasi)
1	Hari pertama	Unity Asset Store	72.2k	84.3k	15,8k	11.8k
2	Hari kedua	Unity Asset Store	2.5M	4.9M	508.9k	986.4k
3	Hari ketiga	Unity Asset Store	3.5M	1.9M	1.2M	638.0k
4	Hari keempat	Unity Asset Store	6.1M	11.8M	675.2k	1.3M
5	Hari kelima	Unity Asset Store	76.7k	75.6k	15.3k	10.7k
6	Hari keenam	Unity Asset Store	115.2k	72.8k	31.5k	21.4k

Berdasarkan Tabel 3, seluruh aset tiga dimensi mengalami penurunan jumlah *vertices* dan *triangles* setelah diterapkan teknik *mesh simplification*. Persentase reduksi *vertices* berada pada rentang 65,7% hingga 88,9%, sedangkan reduksi *triangles* berkisar antara 66,4% hingga 89,0%. Perbedaan tingkat reduksi pada setiap objek disebabkan oleh kompleksitas awal model tiga dimensi yang berbeda sehingga proses penyederhanaan dilakukan secara proporsional untuk mempertahankan bentuk visual utama objek. Objek hari keempat menunjukkan tingkat optimasi paling tinggi dengan reduksi sebesar 88,9% pada jumlah *vertices* dan 89,0% pada jumlah *triangles*. Sebaliknya, objek hari ketiga mengalami reduksi paling kecil karena memiliki struktur geometris yang lebih kompleks sehingga penyederhanaan dilakukan secara lebih konservatif agar kualitas visual tetap terjaga. Hasil tersebut menunjukkan bahwa teknik *mesh simplification* berhasil mengurangi kompleksitas geometris model secara signifikan sehingga beban proses *rendering* dapat ditekan. Penurunan kompleksitas ini selanjutnya berkontribusi terhadap peningkatan performa aplikasi yang ditunjukkan melalui peningkatan *frame rate*, penurunan konsumsi daya baterai, serta penurunan suhu perangkat pada proses pengujian.



Gambar 6. Grafik perbandingan jumlah vertices dan triangles sebelum dan sesudah optimasi (*mesh simplification*) pada enam aset 3D

Grafik perbandingan jumlah *triangles* dan *vertices* di Gambar 6 menunjukkan bahwa seluruh aset 3D mengalami penurunan kompleksitas *mesh* setelah diterapkan teknik *mesh simplification*. Pada kondisi awal, aset dengan visual kompleks seperti Hari Ketiga, Hari Keempat, dan Hari Kelima memiliki jumlah *tris* dan *verts* yang tinggi. Setelah optimasi, terjadi penurunan signifikan pada seluruh aset, dengan reduksi terbesar terjadi pada objek Hari Keempat, sedangkan objek lainnya juga mengalami penurunan kompleksitas *mesh* yang signifikan sesuai karakteristik geometrinya. Hasil ini menunjukkan bahwa *mesh simplification* efektif menurunkan kompleksitas geometris tanpa menghilangkan bentuk visual utama objek. Penurunan kompleksitas tersebut berkontribusi terhadap peningkatan performa aplikasi AR berbasis *marker*, khususnya dalam menjaga kestabilan *frame rate*.

Hasil Pengujian dan Analisis Aplikasi

Pengujian dilakukan untuk membandingkan performa aplikasi AR sebelum dan sesudah optimasi menggunakan teknik *mesh simplification*. Parameter yang diuji meliputi konsumsi baterai, FPS, dan suhu perangkat. Pengujian dilakukan pada perangkat Poco X3 Pro dengan RAM 8 GB + 5 GB (virtual) dan sistem operasi Android 13, dalam kondisi tanpa aplikasi latar belakang. Pengukuran dilakukan selama 30 menit dengan pencatatan setiap 5 menit. Data yang diperoleh digunakan untuk mengevaluasi pengaruh optimasi terhadap efisiensi daya dan stabilitas performa aplikasi, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perbandingan suhu, FPS dan baterai

Parameter	Aplikasi default	Aplikasi optimasi	Selisih	Persentase perubahan
Suhu maksimum (°C)	61°C	56°C	5°C	8,2%
FPS	±9 FPS	±28 FPS	19 FPS	211%
Baterai	23%	15%	8%	34,8%

Peningkatan *frame rate* menunjukkan bahwa berkurangnya kompleksitas model tiga dimensi memberikan beban komputasi yang lebih ringan pada GPU. Temuan ini sejalan dengan penelitian Boutsi et al. (2023) yang melaporkan bahwa optimasi *multi-resolution rendering* mampu meningkatkan efisiensi proses visualisasi objek tiga dimensi pada lingkungan AR. Hasil penelitian ini juga mendukung penelitian Arige et al. (2023) yang menunjukkan bahwa penyederhanaan *mesh* dapat mengurangi kompleksitas model tanpa menghilangkan karakteristik visual utama objek. Peningkatan *frame rate* sebesar sekitar 211% menunjukkan bahwa proses *rendering* objek tiga dimensi menjadi jauh lebih efisien setelah kompleksitas *mesh* dikurangi. Berkurangnya jumlah *vertices* dan *triangles* menyebabkan GPU memerlukan waktu komputasi yang lebih singkat untuk menghasilkan setiap *frame* sehingga animasi objek menjadi lebih stabil dan responsif. Kondisi tersebut sangat penting pada aplikasi AR karena kestabilan *frame rate* berpengaruh langsung terhadap kenyamanan pengguna selama proses interaksi.

Berdasarkan hasil pengujian selama 30 menit, konsumsi daya baterai pada aplikasi versi *default* mencapai 23%, sedangkan aplikasi hasil optimasi hanya mengonsumsi 15% daya baterai. Penurunan konsumsi daya sebesar 34,8% menunjukkan bahwa penyederhanaan jumlah *vertices* dan *triangles* berhasil mengurangi beban proses *rendering* sehingga kebutuhan komputasi GPU menjadi lebih rendah. Hasil tersebut menunjukkan bahwa teknik *mesh simplification* tidak hanya meningkatkan performa grafis, tetapi juga meningkatkan efisiensi energi pada perangkat Android. Berkurangnya kompleksitas model tiga dimensi menyebabkan proses pemrosesan grafis menjadi lebih ringan sehingga konsumsi daya baterai dapat ditekan tanpa mengurangi kualitas visual utama aplikasi. Temuan ini sejalan dengan penelitian Sahu et al. (2025) yang melaporkan bahwa optimasi komputasi pada aplikasi *mobile* AR mampu meningkatkan efisiensi energi sekaligus memperpanjang masa pakai baterai perangkat. Hasil penelitian ini juga mendukung penelitian Na & Lee (2024) yang menunjukkan bahwa strategi optimasi beban komputasi memberikan kontribusi terhadap penurunan konsumsi energi tanpa mengurangi performa aplikasi.

Selain menurunkan konsumsi daya baterai, penerapan *mesh simplification* juga menurunkan suhu maksimum perangkat dari 61°C menjadi 56°C. Penurunan suhu sebesar 5°C menunjukkan bahwa proses *rendering* yang lebih ringan mampu mengurangi beban kerja GPU selama aplikasi dijalankan. Suhu perangkat yang lebih rendah berkontribusi terhadap stabilitas performa karena dapat mengurangi potensi terjadinya *thermal throttling*, yaitu mekanisme penurunan kinerja prosesor akibat suhu operasi yang terlalu tinggi. Dengan demikian, aplikasi mampu mempertahankan performa yang lebih stabil selama proses penggunaan dalam jangka waktu yang lebih lama.

Temuan tersebut juga konsisten dengan hasil pengujian *frame rate* dan konsumsi daya baterai yang menunjukkan peningkatan efisiensi aplikasi setelah penerapan *mesh simplification*. Hal ini mengindikasikan bahwa pengurangan kompleksitas geometris model tiga dimensi memberikan dampak positif terhadap penggunaan sumber daya perangkat secara menyeluruh.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menerapkan teknik *mesh simplification* pada aplikasi AR berbasis *marker* untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya perangkat Android. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penyederhanaan jumlah *vertices* dan *triangles* mampu menurunkan kompleksitas geometris objek tiga dimensi sehingga proses *rendering* menjadi lebih ringan. Setelah dilakukan optimasi, konsumsi daya baterai menurun dari 23% menjadi 15%, *frame rate* meningkat dari sekitar 9 FPS menjadi 27–30 FPS, dan suhu maksimum perangkat turun dari 61°C menjadi 56°C. Temuan tersebut menunjukkan bahwa teknik *mesh simplification* efektif meningkatkan efisiensi energi sekaligus mempertahankan performa aplikasi tanpa mengurangi kualitas visual utama objek. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk mengoptimalkan penggunaan baterai melalui penerapan teknik *mesh simplification* pada aplikasi AR berbasis *marker* telah berhasil dicapai. Penelitian selanjutnya dapat mengevaluasi penerapan metode optimasi grafis lain, seperti *Level of Detail* (LOD) atau *adaptive mesh simplification*, pada berbagai jenis perangkat Android dan aplikasi AR yang lebih kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

Arige, A., Preda, M., & Zaharia, T. (2023). Simplification of continuous chains in 3D CAD models for industrial AR applications. *2023 IEEE 19th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP)*, 171–176. https://doi.org/10.1109/ICCP60212.2023.10398677

Atikah, C., Rusdiyani, I., & Ridela, R. (2023). Pengembangan media pembelajaran berbasis Augmented Reality pada tema binatang purba untuk meningkatkan kemampuan kognitif anak usia dini kelompok B (5–6) tahun di TK Tunas Insan Kamil Kota Serang. *JEA (Jurnal Edukasi AUD)*, *9*(2), 89–101. https://doi.org/10.18592/jea.v9i2.9326

Boutsi, A.-M., Ioannidis, C., & Verykokou, S. (2023). Multi-resolution 3D rendering for high-performance web AR. *Sensors*, *23*(15), Article 6885. https://doi.org/10.3390/s23156885

Hartanti, D., & Kurniawan, M. (2022). Buku literasi Augmented Reality sebagai media pendukung pembelajaran aspek keaksaraan AUD. *Jurnal Obsesi: Jurnal Pendidikan Anak Usia Dini*, *6*(4), 3100–3110. https://doi.org/10.31004/obsesi.v6i4.2042

Martin-Gomez, A., Li, H., Song, T., Yang, S., Wang, G., Ding, H., Navab, N., Zhao, Z., & Armand, M. (2024). STTAR: Surgical tool tracking using off-the-shelf augmented reality head-mounted displays. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, *30*(7), 3578–3593. https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3238309

Na, M., & Lee, J. (2024). Generative AI-enabled energy-efficient mobile augmented reality in multi-access edge computing. *Applied Sciences*, *14*(18), Article 8419. https://doi.org/10.3390/app14188419

Nguyen, M., Vats, S., van Damme, S., van der Hooft, J., Vega, M. T., Wauters, T., De Turck, F., Timmerer, C., & Hellwagner, H. (2023). Characterization of the quality of experience and immersion of point cloud videos in augmented reality through a subjective study. *IEEE Access*, *11*, 128898–128910. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3326374

Paul, T., Beniwal, A., & Rohil, M. K. (2025). Improved 3D reconstruction pipeline for enhancing the quality of 3D model generation from multi-view images. *Scientific Reports*, *15*(1), Article 33231. https://doi.org/10.1038/s41598-025-18318-x

Pujakesuma, D., Kusuma Ningrum, G. D., & Umami, A. A. (2024). Implementasi teknologi Augmented Reality dalam pengembangan media pembelajaran interaktif untuk siswa kelas X. *Jurnal Pembelajaran, Bimbingan, dan Pengelolaan Pendidikan*, *4*(6), Article 4. https://doi.org/10.17977/um065.v4.i6.2024.4

Rahmatika, A., Manurung, A. A., & Ramadhani, F. (2023). Pengembangan media pembelajaran berbasis Augmented Reality untuk meningkatkan empati anak usia dini dengan metode MDLC (Multimedia Development Life Cycle). *Sudo Jurnal Teknik Informatika*, *2*(3), 122–130. https://doi.org/10.56211/sudo.v2i3.330

Riwinoto, R., & Nugroho, A. (2024). 3D optimization analysis in augmented reality application. *Proceedings of the 6th International Conference on Applied Engineering, ICAE 2023*. https://doi.org/10.4108/eai.7-11-2023.2342933

Sahu, D., Nidhi, Prakash, S., Pandey, V. K., Yang, T., Rathore, R. S., & Wang, L. (2025). Edge assisted energy optimization for mobile AR applications for enhanced battery life and performance. *Scientific Reports*, *15*(1), Article 10034. https://doi.org/10.1038/s41598-025-93731-w

Simon, J. (2023). Augmented reality application development using Unity and Vuforia. *Interdisciplinary Description of Complex Systems*, *21*(1), 69–77. https://doi.org/10.7906/indecs.21.1.6

Sonita, A., & Susanto, A. (2022). Implementasi Augmented Reality (AR) sebagai media pengenalan Aksara Ka Ga Nga Rejang Lebong berbasis Android. *Jurnal Komputer, Informasi dan Teknologi*, *2*(2). https://doi.org/10.53697/jkomitek.v2i2.867

Syaputra, R. A., & Widiyanto, A. (2020). Implementation of the level of detail method on augmented reality android-based applications. *Journal of Physics: Conference Series*, *1517*(1), Article 012090. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1517/1/012090

Wang, Z., Foo, K., Yan, S., Gonzalez, V. A., & Giacaman, N. (2022). Refresh rate and graphical benchmarks for mobile VR application development. *Journal of Mobile Multimedia*. https://doi.org/10.13052/jmm1550-4646.1865