MASALIQ
Jurnal Pendidikan dan Sains

e-ISSN: 2808-8115
p-ISSN: 2809-1051

Terindeks: Sinta 5, Copernicus, Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/masaliq.v6i4.11428

RANCANG BANGUN MEDIA INFORMASI KAMPUS INSTITUT TEKNOLOGI PADANG BERBASIS PETA 3D INTERAKTIF

Design and Development of Campus Information Media for Institut Teknologi Padang Based on an Interactive 3D Map

Farhan Achyar & Wiki Lofandri
Universitas Negeri Padang
achyarfarhan12@gmail.com; wiloleaks@unp.ac.id

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Jun 8, 2026	Jul 6, 2026	Jul 18, 2026	Jul 23, 2026

Abstract

The development of web-based campus information media has encouraged the use of three-dimensional visualization, but the development of interactive 3D maps integrating manual low-poly modelling, baked lighting, and asset optimization under conditions of limited photogrammetric data remains limited. This study aims to design and evaluate an Institut Teknologi Padang campus information medium based on an interactive 3D map that is lightweight, responsive, and communicative. The study employed a research and development method using the Multimedia Development Life Cycle model, which comprises the concept, design, material collecting, assembly, testing, and distribution stages. Data were obtained through observation, documentation, spatial measurements, black-box testing, performance testing, and a User Acceptance Test questionnaire involving 36 respondents. The data were analyzed using quantitative descriptive analysis based on feasibility percentages. The results showed that the application of low-poly modelling, texture baking, Draco compression, and KTX2 textures reduced the asset size from more than 3.9 GB to less than 50 MB. All system functions were declared valid, while the average performance reached 160–164 FPS on the testing device. The feasibility test obtained

Masaliq Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

a score of 87.13%, categorized as highly feasible, while the technical performance aspect reached 90.93%. These findings confirm that the integration of WebGL, Three.js, React, and Next.js is effective in supporting the development of interactive and efficient campus spatial information media. This study contributes to the development of web-based campus information media through a 3D asset optimization strategy suitable for environments with limited photogrammetric data. Future research should test the system on low-specification devices, expand the respondent coverage, and develop more adaptive navigation, route-searching, and camera-control features.

Keywords: Campus Information Media; Interactive 3D Map; Low-Poly Modelling; User Acceptance Test; WebGL

Abstrak: Perkembangan media informasi kampus berbasis web telah mendorong pemanfaatan visualisasi tiga dimensi, tetapi pengembangan peta 3D interaktif yang mengintegrasikan pemodelan manual *low-poly*, *baked lighting*, dan optimasi aset dalam kondisi keterbatasan data fotogrametri masih terbatas. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi media informasi Kampus Institut Teknologi Padang berbasis peta 3D interaktif yang ringan, responsif, dan komunikatif. Penelitian menggunakan metode penelitian dan pengembangan dengan model *Multimedia Development Life Cycle* yang mencakup tahap *concept*, *design*, *material collecting*, *assembly*, *testing*, dan *distribution*. Data diperoleh melalui observasi, dokumentasi, pengukuran spasial, pengujian *black-box*, pengujian performa, dan kuesioner *User Acceptance Test* yang melibatkan 36 responden. Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif menggunakan persentase kelayakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan *low-poly modelling*, *texture baking*, kompresi Draco, dan tekstur KTX2 mampu mengurangi ukuran aset dari lebih dari 3,9 GB menjadi kurang dari 50 MB. Seluruh fungsi sistem dinyatakan valid, sedangkan rata-rata performa mencapai 160–164 FPS pada perangkat pengujian. Uji kelayakan memperoleh skor 87,13% dengan kategori sangat layak, sementara aspek performa teknis mencapai 90,93%. Temuan ini menegaskan bahwa integrasi WebGL, Three.js, React, dan Next.js efektif dalam mendukung pengembangan media informasi spasial kampus yang interaktif dan efisien. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan media informasi kampus berbasis web melalui strategi optimasi aset 3D yang sesuai untuk lingkungan dengan keterbatasan data fotogrametri. Penelitian selanjutnya perlu menguji sistem pada perangkat berspesifikasi rendah, memperluas cakupan responden, serta mengembangkan fitur navigasi, pencarian rute, dan kontrol kamera yang lebih adaptif.

Kata Kunci: Media Informasi Kampus; Peta 3D Interaktif; Pemodelan *Low-Poly*; *User Acceptance Test*; WebGL

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi telah mendorong perguruan tinggi untuk menyediakan media informasi yang tidak hanya memuat data tekstual, tetapi juga mampu merepresentasikan lingkungan kampus secara visual, interaktif, dan mudah diakses. Informasi mengenai lokasi gedung, ruang perkuliahan, laboratorium, fasilitas layanan, area parkir, serta jalur penghubung menjadi bagian penting dalam mendukung mobilitas sivitas

akademika dan pengunjung. Media informasi digital memiliki kemampuan untuk menyampaikan informasi secara lebih cepat, fleksibel, dan komunikatif dibandingkan media konvensional, terutama ketika informasi yang disajikan memiliki karakteristik spasial dan membutuhkan pemahaman visual (Putra & Heriyanto, 2022; Wibowo & Nugroho, 2021). Kompleksitas lingkungan kampus sering menimbulkan kesulitan navigasi bagi mahasiswa baru, tamu, calon mahasiswa, dan masyarakat yang belum mengenal tata letak institusi. Denah dua dimensi dapat memberikan informasi dasar mengenai lokasi, tetapi belum sepenuhnya menghadirkan persepsi kedalaman, bentuk bangunan, karakteristik arsitektur, dan hubungan spasial antarfasilitas. Visualisasi tiga dimensi memberikan alternatif penyajian informasi yang lebih representatif karena objek dan lingkungan dapat diamati dari berbagai sudut pandang sehingga membantu pengguna membangun pemahaman spasial yang lebih baik (Tost & Grau, 2022; Zulfa & Arifin, 2025).

Kebutuhan terhadap media navigasi kampus semakin penting ketika lingkungan institusi memiliki banyak bangunan, fasilitas yang tersebar, serta jalur penghubung yang belum mudah dikenali oleh pengunjung. Media informasi kampus idealnya tidak hanya menunjukkan titik lokasi, tetapi juga mampu menghadirkan bentuk bangunan, identitas fasilitas, hubungan antarlokasi, serta informasi mengenai fungsi setiap objek. Implementasi peta interaktif tiga dimensi dapat mendukung penyampaian informasi ruang publik dengan memberikan representasi lokasi yang lebih intuitif dan memungkinkan pengguna berinteraksi secara langsung dengan objek yang ditampilkan (Maulana et al., 2022). Interaktivitas menjadi unsur penting dalam media digital karena memberikan kesempatan kepada pengguna untuk mengendalikan proses eksplorasi informasi sesuai kebutuhan mereka (Hidayat et al., 2023) . Pengembangan aplikasi lintas perangkat juga memungkinkan media navigasi berbasis web digunakan pada berbagai platform sehingga informasi spasial dapat diakses dengan lebih fleksibel tanpa bergantung pada satu jenis perangkat tertentu (T. Ramadhan & Santoso, 2022).

Institut Teknologi Padang merupakan salah satu perguruan tinggi yang memerlukan media informasi spasial yang lebih representatif. Informasi mengenai lingkungan kampus masih dapat dijumpai dalam bentuk denah statis, gambar dua dimensi, papan penunjuk, maupun penjelasan secara langsung. Media tersebut mampu memberikan informasi dasar, tetapi belum sepenuhnya menggambarkan bentuk fisik bangunan, hubungan antargedung, karakteristik lingkungan, serta fungsi fasilitas secara interaktif. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan mahasiswa baru dan pengunjung mengalami kesulitan ketika mencari gedung,

ruang layanan, laboratorium, area parkir, maupun fasilitas lainnya. Pemanfaatan visualisasi spasial dalam lingkungan virtual dapat membantu penyampaian informasi fasilitas karena objek dapat direpresentasikan secara lebih kontekstual dan mendekati kondisi lingkungan sebenarnya (Zulfa & Arifin, 2025). Pengembangan sistem informasi geografis kampus berbasis web juga menunjukkan bahwa integrasi informasi lokasi dengan teknologi digital dapat menjadi pendekatan untuk memudahkan pengguna memperoleh informasi mengenai lingkungan institusi (Pratama, 2024). Oleh sebab itu, pengembangan peta 3D interaktif diperlukan untuk mengintegrasikan informasi lokasi, representasi fisik bangunan, identitas fasilitas, dan deskripsi fungsi objek ke dalam satu media yang lebih komunikatif.

Teknologi Web Graphics Library (WebGL) memberikan peluang untuk mewujudkan media tersebut melalui peramban web tanpa mengharuskan pengguna memasang perangkat lunak khusus. WebGL merupakan teknologi grafis berbasis web yang memungkinkan visualisasi dua dimensi dan tiga dimensi ditampilkan secara langsung melalui browser dengan memanfaatkan kemampuan pemrosesan grafis perangkat (Group, 2021). Pengembangan grafis menggunakan WebGL memungkinkan objek, material, pencahayaan, kamera, dan elemen visual lainnya diproses dalam lingkungan web sehingga mendukung penyajian visual yang interaktif (Erra & Capece, 2022). Pustaka JavaScript seperti Three.js semakin menyederhanakan pengembangan visualisasi tiga dimensi karena menyediakan berbagai fungsi untuk pengelolaan scene, kamera, objek, material, pencahayaan, animasi, dan interaksi pengguna (Butean, 2021). Pemanfaatan Three.js juga telah diterapkan dalam pengembangan media pembelajaran interaktif berbasis tiga dimensi, yang menunjukkan fleksibilitas pustaka tersebut untuk menghasilkan pengalaman visual berbasis web (Wicaksono, 2024). Kombinasi WebGL dan Three.js dengan demikian relevan digunakan untuk membangun media informasi kampus yang dapat diakses melalui komputer, laptop, maupun perangkat bergerak.

Pengembangan lingkungan tiga dimensi berbasis web tetap menghadapi tantangan berupa ukuran aset, kompleksitas geometri, tekstur, pencahayaan, serta kemampuan perangkat pengguna dalam melakukan rendering. Model dengan jumlah poligon yang terlalu tinggi dapat meningkatkan ukuran data dan beban pemrosesan sehingga memengaruhi waktu pemuatan serta responsivitas aplikasi. Pendekatan low-poly modelling menjadi salah satu strategi untuk mengurangi kompleksitas objek dengan mempertahankan elemen geometris yang paling penting bagi pengenalan bentuk visual. Pemodelan low-poly dinilai relevan untuk aplikasi real-time karena dapat mengurangi beban rendering tanpa harus menghilangkan karakter utama objek yang ditampilkan (Sharma, 2022). Pendekatan serupa juga digunakan

dalam transformasi karakter tiga dimensi untuk kebutuhan permainan digital, yang memperlihatkan bahwa penyederhanaan poligon dapat digunakan untuk membangun objek yang tetap memiliki identitas visual dengan struktur geometri yang lebih efisien (Martyastiadi & Citrayani, 2013). Optimalisasi model menjadi semakin penting dalam aplikasi web karena kualitas visual perlu diseimbangkan dengan keterbatasan bandwidth, memori, dan kemampuan grafis perangkat pengguna.

Pengembangan model tiga dimensi lingkungan Institut Teknologi Padang juga menghadapi keterbatasan karena pengambilan citra udara menggunakan pesawat nirawak tidak dapat dilakukan secara bebas pada wilayah penelitian. Kondisi tersebut menyebabkan pendekatan fotogrametri tidak dapat menjadi satu-satunya metode pembentukan aset visual kampus. Pemodelan perlu dilakukan secara manual berdasarkan observasi lapangan, dokumentasi fotografi, pengukuran, denah, serta identifikasi karakteristik arsitektur setiap bangunan. Pemodelan manual memberikan keleluasaan untuk mempertahankan bagian yang menjadi identitas visual bangunan sekaligus menyederhanakan elemen yang tidak memberikan pengaruh besar terhadap fungsi informasi. Pendekatan rekonstruksi bangunan dengan penyederhanaan struktur geometris menunjukkan bahwa representasi objek dapat dibangun secara efisien dengan mempertimbangkan bentuk utama dan kontur bangunan (Xiao et al., 2024). Optimalisasi representasi spasial tiga dimensi juga perlu mempertimbangkan struktur model dan proses pengolahan data agar visualisasi dapat berjalan secara efisien ketika ditampilkan melalui web (Akın et al., 2024). Pendekatan tersebut mendukung penggunaan pemodelan manual low-poly sebagai alternatif ketika data fotogrametri, point cloud, atau model bangunan digital yang lengkap tidak tersedia.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah menunjukkan pemanfaatan teknologi tiga dimensi untuk merepresentasikan lingkungan kampus dan mendukung eksplorasi ruang secara digital. Moloo et al. (2016) mengembangkan tur virtual tiga dimensi University of Mauritius menggunakan WebGL sehingga lingkungan kampus dapat dijelajahi melalui media berbasis web. Penggunaan teknologi berbasis web untuk tur kampus juga berkembang melalui pendekatan augmented reality yang memungkinkan pengguna memperoleh pengalaman eksplorasi lingkungan universitas secara lebih interaktif (Bakhmut et al., 2021). Teknologi visualisasi tiga dimensi berbasis browser selanjutnya semakin banyak digunakan dalam lingkungan pendidikan karena mampu menyediakan representasi ruang yang lebih imersif dan mudah diakses melalui perangkat pengguna (Kim & Park, 2021). Pengembangan lingkungan virtual pada konteks pendidikan tinggi juga menunjukkan potensi teknologi

tersebut sebagai media untuk menghadirkan pengalaman eksplorasi ruang yang tidak terbatas pada penyampaian informasi tekstual (Radianti, 2021). Berbagai penelitian tersebut memperlihatkan bahwa lingkungan tiga dimensi berbasis web memiliki potensi besar sebagai media informasi dan orientasi kampus.

Perkembangan penelitian juga menunjukkan bahwa kualitas media tiga dimensi tidak hanya ditentukan oleh kelengkapan objek, tetapi juga oleh pengelolaan material, pencahayaan, interaksi, dan performa rendering. Penggunaan material berbasis fisika dan pengaturan pencahayaan dapat meningkatkan persepsi bentuk serta kedalaman objek tiga dimensi sehingga lingkungan digital terlihat lebih konsisten secara visual (Malpica, 2023). Teknik pencahayaan dinamis dan baked lighting memiliki karakteristik pemrosesan yang berbeda; pencahayaan yang telah dipanggang ke dalam tekstur dapat mengurangi kebutuhan kalkulasi cahaya secara real-time sehingga sesuai untuk lingkungan yang memerlukan efisiensi rendering (Kim & Park, 2021). Penerapan baked lighting bersama pemodelan low-poly juga dapat menjadi strategi untuk mempertahankan daya tarik visual sambil menjaga efisiensi sistem (Prasetyo, 2024). Sementara itu, optimasi performa WebGL diperlukan agar visualisasi arsitektur tiga dimensi tetap dapat dimuat dan dioperasikan secara stabil pada lingkungan web (F. Ramadhan & Nugroho, 2023). Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa pengembangan peta 3D interaktif memerlukan keseimbangan antara kualitas visual, kompleksitas aset, dan kemampuan teknis aplikasi.

Berdasarkan penelitian terdahulu, teknologi visualisasi tiga dimensi telah diterapkan untuk tur virtual kampus, navigasi ruang, visualisasi berbasis browser, serta pengembangan lingkungan digital interaktif. Pengembangan peta kampus tiga dimensi dengan material berbasis Physically Based Rendering (PBR) juga menunjukkan potensi integrasi representasi visual dengan fungsi navigasi berbasis web (Rodriguez-Hernandez & Dominguez, 2023). Meskipun demikian, masih terdapat ruang pengembangan pada integrasi pemodelan manual low-poly, baked lighting, optimalisasi geometri dan tekstur, serta penyajian informasi fasilitas dalam satu sistem peta 3D interaktif, khususnya pada kondisi keterbatasan data fotogrametri. Persoalan ukuran aset dan efisiensi rendering juga menjadi perhatian penting karena aplikasi berbasis web harus mampu memberikan kualitas visual yang memadai tanpa menimbulkan beban pemrosesan berlebihan. Kesenjangan tersebut menjadi dasar penelitian ini untuk mengembangkan media informasi kampus yang tidak hanya menampilkan representasi tiga dimensi, tetapi juga mengoptimalkan aset agar lebih ringan, responsif, dan komunikatif ketika diakses melalui peramban web.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi pemodelan manual berkonsep low-poly, baked lighting, optimalisasi aset, penyajian informasi fasilitas, dan implementasi berbasis WebGL untuk menghasilkan peta 3D Institut Teknologi Padang yang ringan dan komunikatif. Konsep low-poly digunakan untuk mengurangi kompleksitas geometri tanpa menghilangkan karakter utama bangunan, sedangkan baked lighting digunakan untuk menyimpan informasi pencahayaan dan bayangan pada tekstur sehingga kebutuhan kalkulasi cahaya secara real-time dapat diminimalkan. Aset tiga dimensi menggunakan format GLB atau glTF yang mendukung penyimpanan geometri, material, tekstur, dan struktur adegan untuk distribusi melalui aplikasi berbasis web. Standar glTF dirancang untuk mendukung transmisi dan pemuatan aset tiga dimensi secara efisien pada berbagai platform grafis (Khronos Group, 2021). Interaksi pengguna dengan objek tiga dimensi juga dikembangkan melalui mekanisme pemilihan objek, salah satunya menggunakan teknik raycasting, yang memungkinkan objek pada lingkungan tiga dimensi diidentifikasi berdasarkan posisi interaksi pengguna (Anto et al., 2023).

Penelitian ini difokuskan pada rancang bangun media informasi Kampus Institut Teknologi Padang berbasis peta 3D interaktif yang dapat diakses melalui peramban web. Pengembangan sistem diarahkan pada pembentukan model gedung secara manual, penerapan optimasi low-poly, penggunaan baked lighting, penyusunan antarmuka interaktif, serta penyajian informasi fungsi setiap fasilitas kampus. Pendekatan tersebut diharapkan dapat menghasilkan media informasi spasial yang tidak hanya menarik secara visual, tetapi juga ringan, responsif, komunikatif, dan mudah digunakan oleh mahasiswa baru, sivitas akademika, maupun pengunjung. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengembangkan, dan mengevaluasi media informasi Kampus Institut Teknologi Padang berbasis peta 3D interaktif yang mampu merepresentasikan lingkungan kampus secara visual, menyediakan informasi lokasi dan fungsi fasilitas secara komunikatif, serta memberikan pengalaman navigasi yang ringan dan responsif melalui peramban web.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode penelitian dan pengembangan dengan model *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC) yang terdiri atas enam tahap, yaitu *concept, design, material collecting, assembly, testing*, dan *distribution*. Tahap konsep dilakukan dengan menetapkan tujuan pengembangan, sasaran pengguna, dan karakteristik media yang akan dihasilkan. Produk dikembangkan sebagai media informasi kampus berbasis peta 3D interaktif yang

ditujukan bagi mahasiswa, dosen, tenaga kependidikan, calon mahasiswa, dan pengunjung Institut Teknologi Padang. Gaya visual yang digunakan adalah *low-poly stylized environment* dengan material *Physically Based Rendering* sederhana dan teknik *baked lighting*. Pendekatan tersebut dipilih untuk mempertahankan identitas visual bangunan sekaligus mengurangi jumlah poligon dan beban pemrosesan grafis pada perangkat pengguna. Tahap perancangan mencakup penyusunan tampilan utama, panel informasi, *tooltip*, arsitektur sistem, diagram UML, tata letak objek berdasarkan denah kampus, sistem navigasi kamera, serta alur interaksi pengguna dengan objek bangunan.

Tahap pengumpulan bahan dilakukan melalui observasi lapangan, dokumentasi fotografi bangunan, pengukuran spasial menggunakan Google Earth dan Google Maps, pengumpulan informasi nama dan fungsi fasilitas, serta pemanfaatan data topografi berbasis *Digital Elevation Model*. Data spasial digunakan untuk menentukan koordinat, orientasi, skala, jarak, dan posisi relatif antarbangunan, sedangkan dokumentasi visual digunakan sebagai acuan pemodelan bentuk fasad, atap, pintu, jendela, warna, dan karakteristik material. Proses perakitan dilakukan dengan membuat dan mengoptimalkan model tiga dimensi menggunakan Blender melalui penyederhanaan geometri, pengurangan poligon, dan *texture baking*. Model kemudian diekspor dalam format glTF/GLB dan diintegrasikan ke dalam lingkungan web menggunakan Three.js, JavaScript, HTML, dan CSS. Sistem dilengkapi *OrbitControls* untuk fungsi *orbit, pan*, dan *zoom*, teknik *raycasting* untuk mendeteksi objek yang dipilih, panel informasi fasilitas, fitur pencarian, pembatasan pergerakan kamera, serta fungsi *easing* untuk menghasilkan perpindahan kamera yang halus. Seluruh pemrosesan visual dilakukan pada sisi pengguna melalui WebGL agar interaksi dapat berlangsung secara waktu nyata.

Pengujian produk dilakukan melalui pengujian fungsional, performa, kompatibilitas, batasan kamera, dan penerimaan pengguna. Pengujian fungsional menggunakan metode *black-box testing* untuk memeriksa kesesuaian fungsi navigasi, pencarian gedung, *raycasting*, tombol, *tooltip*, dan panel informasi. Performa sistem diukur berdasarkan kestabilan proses *rendering* dengan target 30–60 *frames per second*, sedangkan pengujian *collision* dan *clipping* dilakukan untuk memastikan kamera tidak menembus bangunan atau keluar dari batas lingkungan virtual. Uji penerimaan pengguna atau *User Acceptance Test* dilakukan melalui kuesioner berskala Likert 1–5 kepada pengguna yang telah mengoperasikan aplikasi. Penilaian mencakup kualitas visual dan aset 3D, kenyamanan visual, kedalaman ruang, responsivitas kontrol, presisi interaksi, kestabilan sistem, dan efisiensi navigasi. Data

dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan menghitung persentase kelayakan menggunakan rumus: persentase kelayakan = (skor yang diperoleh/skor ideal) × 100%. Hasil persentase dikategorikan menjadi sangat tidak layak, tidak layak, cukup layak, layak, dan sangat layak. Produk yang telah memenuhi kriteria pengujian selanjutnya didistribusikan melalui Cloudflare Workers dan *Content Delivery Network* agar dapat diakses secara daring dengan waktu pemuatan dan latensi yang lebih rendah.

HASIL

1. Implementasi Media Informasi Peta 3D Interaktif

Penelitian ini menghasilkan media informasi Kampus Institut Teknologi Padang berbasis peta 3D interaktif yang dapat diakses melalui peramban web. Produk menampilkan representasi visual gedung, jalan, area parkir, vegetasi, lingkungan sekitar, dan sejumlah fasilitas pendukung kampus. Seluruh objek tiga dimensi dimodelkan secara manual menggunakan Blender dengan pendekatan *low-poly stylized*. Pendekatan tersebut menghasilkan bentuk bangunan yang tetap dapat dikenali berdasarkan karakteristik arsitekturnya, tetapi memiliki struktur geometri yang lebih sederhana untuk mendukung proses *rendering* berbasis web.

Aset 3D yang dihasilkan terdiri atas Gedung A sampai Gedung H, kantin, pos satuan pengamanan dan ATM, parkiran sepeda motor, vegetasi, rumah warga, tata letak kampus, lanskap utama, dan aset pendukung lainnya. Keseluruhan aset memiliki 192.682 *vertices* dan 260.320 *faces* dengan total ukuran berkas GLB sebesar 46.723 KB. Vegetasi menjadi aset dengan jumlah geometri terbesar, yaitu 64.597 *vertices* dan 115.491 *faces*, sedangkan Gedung D menjadi model bangunan dengan kompleksitas tertinggi, yaitu 43.290 *vertices* dan 50.798 *faces*. Ringkasan karakteristik teknis aset disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan karakteristik teknis aset 3D

Kelompok aset	Jumlah vertices	Jumlah faces	Ukuran GLB
Gedung A–H	65.254	73.142	14.560 KB
Fasilitas pendukung	1.329	1.391	2.925 KB
Vegetasi	64.597	115.491	11.352 KB
Tata letak kampus	54.288	58.801	9.305 KB
Rumah warga	730	1.168	1.239 KB
Lanskap utama	3.538	5.531	7.092 KB
Aset lainnya	2.946	4.796	250 KB
Total	192.682	260.320	46.723 KB

Optimalisasi aset dilakukan melalui penerapan kompresi Draco pada geometri GLB dan kompresi KTX2 pada tekstur. Ukuran lingkungan tiga dimensi sebelum optimalisasi tercatat lebih dari 3,9 GB, kemudian berhasil dikurangi menjadi kurang dari 50 MB. Hasil tersebut menunjukkan adanya pengurangan ukuran data lebih dari 98% dibandingkan berkas awal. Meskipun ukuran berkas mengalami penurunan secara signifikan, bentuk dasar dan siluet setiap bangunan tetap dapat dipertahankan. Struktur poligon pada hasil *wireframe render* juga menunjukkan bahwa geometri ditempatkan terutama pada bagian yang memengaruhi bentuk arsitektur bangunan.

Penerapan material menggunakan pendekatan *Physically Based Rendering* dengan konfigurasi *ACES Filmic Tone Mapping* dan nilai eksposur 1,0. Informasi pencahayaan, bayangan, dan *ambient occlusion* diproses melalui teknik *texture baking* di Blender, kemudian disimpan dalam tekstur atlas dengan resolusi maksimum 4096 × 4096 piksel. Tekstur tersebut dikompresi ke dalam format KTX2 menggunakan algoritma ETC1S atau UASTC. Hasil visualisasi menunjukkan bahwa proses kompresi tidak menghilangkan karakter visual *stylized* pada model. Gradasi bayangan pada dinding, atap, jendela, dan bagian pertemuan antarobjek masih dapat ditampilkan dengan jelas setelah model diintegrasikan ke dalam aplikasi web.

Aplikasi dibangun menggunakan React dan Next.js, sedangkan visualisasi tiga dimensi ditampilkan melalui Three.js dan WebGL. Antarmuka sistem dibagi menjadi beberapa komponen utama, yaitu *SceneViewer, BuildingInfoPanel, ControlPanel*, dan *Header*. Interaksi antara objek 3D dan antarmuka dilakukan melalui peristiwa *pointermove* dan *pointerdown*. Ketika pengguna mengarahkan kursor pada objek bangunan, sistem menampilkan *tooltip* nama gedung. Ketika objek dipilih, sistem menampilkan panel yang berisi nama gedung, deskripsi fungsi, galeri foto, dan tautan panorama tanpa menghilangkan tampilan peta utama.

Sistem menggunakan kamera ortografis untuk menghasilkan representasi lingkungan yang konsisten seperti peta atau maket digital. Navigasi pengguna meliputi fungsi *orbit, pan*, dan *zoom* melalui *OrbitControls*. Pengaturan enableDamping dengan nilai dampingFactor sebesar 0,05 menghasilkan pergerakan kamera yang lebih halus, sedangkan pembatasan sudut polar mencegah kamera bergerak ke bawah permukaan tanah. Sistem juga menyediakan beberapa posisi kamera yang telah ditentukan untuk mengarahkan pandangan pengguna ke area tertentu. Produk akhir dipublikasikan melalui Cloudflare Pages dan diintegrasikan

dengan subdomain institusi toonmap.itp.ac.id, sehingga dapat diakses secara daring melalui koneksi yang dilindungi SSL.

2. Hasil Pengujian Fungsionalitas

Pengujian *black-box* menunjukkan bahwa seluruh fungsi utama aplikasi dapat berjalan sesuai dengan skenario yang dirancang. Kontrol kamera dapat merespons tindakan *drag, pan*, dan *zoom*; sistem dapat mendeteksi objek gedung dan menampilkan panel informasi; KTX2Loader dapat mendekompresi tekstur tanpa merusak warna material; serta aplikasi dapat diakses melalui subdomain yang telah diintegrasikan dengan Cloudflare Pages. Berdasarkan empat skenario pengujian, seluruh fitur memperoleh status valid sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian fungsionalitas sistem

Fitur yang diuji	Hasil pengujian	Status
Navigasi kamera	Fungsi drag, pan, dan zoom berjalan serta mengikuti batas area peta	Valid
Interaksi objek gedung	Tooltip dan panel informasi muncul sesuai objek yang dipilih	Valid
Dekompresi tekstur KTX2	Tekstur dapat dimuat tanpa kerusakan warna dan material	Valid
Infrastruktur dan domain	Aplikasi dapat diakses dan antarmuka menyesuaikan ukuran layar	Valid

Pengujian batas kamera menunjukkan bahwa kontrol *collision* dan *clipping* telah bekerja sesuai dengan parameter yang ditetapkan. Kamera terkunci sebelum menembus permukaan tanah karena nilai maxPolarAngle dibatasi sebesar Math.PI/2.5. Batas perbesaran dengan nilai minDistance = 5 mencegah kamera terlalu dekat dengan objek, sedangkan nilai maxDistance = 50 mempertahankan lingkungan kampus agar tetap berada dalam area pandang. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengguna dapat menjelajahi peta tanpa keluar dari batas lingkungan virtual atau mengalami kebocoran visual akibat kamera menembus model.

3. Hasil Pengujian Performa

Pengujian performa dilakukan selama 60 detik pada laptop Lenovo Legion 7 2021 menggunakan peramban Chrome, Microsoft Edge, dan Mozilla Firefox. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata *frame rate* pada ketiga peramban berada di atas target 30–60 FPS. Chrome menghasilkan rata-rata 160 FPS, sedangkan Edge dan Firefox masing-masing menghasilkan rata-rata 164 FPS. Walaupun demikian, nilai minimum sesaat masih berada

pada rentang 5–8 FPS sehingga terdapat penurunan performa pada kondisi tertentu yang perlu diperhatikan dalam pengembangan selanjutnya.

Tabel 3. Hasil pengujian performa grafis

Peramban	FPS minimum	FPS maksimum	Rata-rata FPS
Chrome	5	168	160
Microsoft Edge	7	167	164
Mozilla Firefox	8	168	164

4. Hasil Uji Kelayakan Pengguna

Uji kelayakan dilakukan terhadap 36 responden yang telah mencoba media informasi peta 3D interaktif secara langsung. Responden terdiri atas 22 pelajar atau mahasiswa dengan persentase 61,11%, delapan pengguna umum sebesar 22,22%, empat dosen atau tenaga kependidikan sebesar 11,11%, dan dua staf sebesar 5,56%. Instrumen pengujian terdiri atas 12 pernyataan yang mencakup kemudahan navigasi dan kontrol kamera, kejelasan informasi dan antarmuka, daya tarik visual dan estetika, serta performa teknis aplikasi.

Hasil pengolahan kuesioner menunjukkan skor keseluruhan sebesar 1.882 dari skor ideal 2.160 atau setara dengan persentase kelayakan 87,13%. Berdasarkan kategori interpretasi, persentase tersebut termasuk kategori sangat layak. Aspek performa teknis memperoleh persentase tertinggi sebesar 90,93%, diikuti kejelasan informasi dan antarmuka sebesar 87,22%, daya tarik visual dan estetika sebesar 86,94%, serta kemudahan navigasi dan kontrol kamera sebesar 84,31%.

Tabel 4. Hasil uji kelayakan media

Aspek penilaian	Skor diperoleh	Skor ideal	Persentase	Kategori
Kemudahan navigasi dan kontrol kamera	607	720	84,31%	Sangat layak
Kejelasan informasi dan antarmuka	471	540	87,22%	Sangat layak
Daya tarik visual dan estetika	313	360	86,94%	Sangat layak
Performa teknis aplikasi	491	540	90,93%	Sangat layak
Keseluruhan	1.882	2.160	87,13%	Sangat layak

Perolehan persentase tertinggi pada aspek performa teknis menunjukkan bahwa penerapan pemodelan *low-poly*, kompresi Draco, tekstur KTX2, dan *baked lighting* mampu mendukung kelancaran aplikasi berbasis web. Aspek navigasi dan kontrol kamera memperoleh persentase paling rendah dibandingkan aspek lainnya, meskipun tetap termasuk kategori sangat layak. Beberapa responden menyarankan penyesuaian batas *zoom* dan penambahan kontrol navigasi menggunakan papan ketik atau tombol WASD. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa media informasi Kampus Institut

Teknologi Padang berbasis peta 3D interaktif telah berfungsi sesuai rancangan dan sangat layak digunakan sebagai media informasi serta pengenalan lingkungan kampus.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa media informasi Kampus Institut Teknologi Padang berbasis peta 3D interaktif berhasil mengintegrasikan representasi visual lingkungan kampus, informasi fasilitas, sistem navigasi kamera, dan antarmuka berbasis web. Produk yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai visualisasi bentuk bangunan, tetapi juga sebagai media informasi spasial yang memungkinkan pengguna mengenali posisi, karakteristik, dan fungsi fasilitas kampus. Keberhasilan tersebut terlihat dari seluruh skenario pengujian black-box yang memperoleh status valid dan hasil uji kelayakan sebesar 87,13% dengan kategori sangat layak. Temuan ini memperlihatkan bahwa integrasi Blender, Three.js, React, Next.js, WebGL, dan infrastruktur berbasis web dapat menghasilkan media informasi kampus yang komunikatif serta dapat diakses melalui peramban tanpa pemasangan aplikasi tambahan. Hasil tersebut sejalan dengan Moloo et al. (2016) yang mengembangkan tur virtual tiga dimensi University of Mauritius menggunakan WebGL sehingga lingkungan kampus dapat dieksplorasi melalui internet. Pengembangan lingkungan kampus berbasis teknologi tiga dimensi juga menunjukkan bahwa visualisasi virtual dapat mendukung pengenalan fasilitas dan eksplorasi lingkungan pendidikan secara lebih interaktif (Bakhmut et al., 2021; Park & Kim, 2024; Seo & Kim, 2022)

1. Efektivitas Teknik Low-Poly, Baked Lighting, dan Kompresi Aset

Penerapan teknik *low-poly modelling* memberikan kontribusi penting terhadap efisiensi geometri lingkungan tiga dimensi. Keseluruhan lingkungan virtual memiliki 192.682 *vertices* dan 260.320 *faces*, dengan total ukuran aset GLB sebesar 46.723 KB. Struktur geometri tersebut menunjukkan bahwa penyederhanaan model dapat dilakukan tanpa menghilangkan siluet dan karakteristik utama bangunan di lingkungan Institut Teknologi Padang. Pemodelan *low-poly* menempatkan detail geometri pada bagian yang menentukan identitas visual bangunan, sedangkan bagian yang tidak banyak memengaruhi persepsi pengguna dibuat lebih sederhana. Pendekatan tersebut relevan untuk visualisasi berbasis web karena kompleksitas geometri berkaitan dengan ukuran data, penggunaan memori, dan beban pemrosesan ketika objek tiga dimensi dirender secara waktu nyata. Sharma (2022) menunjukkan bahwa pemodelan *low-poly* dapat menjadi pendekatan untuk meningkatkan efisiensi aplikasi *real-time*

web rendering. Penerapan pemodelan berpoligon rendah juga memungkinkan karakter visual objek tetap dipertahankan melalui penyederhanaan geometri yang terencana (Martyastiadi & Citrayani, 2013).

Optimalisasi model menjadi semakin penting ketika lingkungan tiga dimensi terdiri atas banyak bangunan dan objek pendukung yang harus ditampilkan secara bersamaan. Akın et al. (2024) menekankan pentingnya pendekatan optimasi pada analisis spasial tiga dimensi berbasis web agar model dapat diproses dan divisualisasikan secara lebih efisien. Penggunaan aset yang terlalu kompleks berpotensi meningkatkan waktu pemuatan dan menurunkan respons sistem, khususnya pada perangkat yang memiliki kemampuan grafis terbatas. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemodelan manual berkonsep *low-poly* dapat digunakan sebagai alternatif ketika data fotogrametri, *point cloud*, atau model bangunan digital tidak tersedia. Pendekatan manual memberikan kendali kepada pengembang dalam menentukan bagian arsitektur yang perlu dipertahankan sebagai identitas visual dan bagian yang dapat disederhanakan. Strategi penyederhanaan bentuk bangunan dengan tetap mempertahankan karakter kontur utama juga relevan dengan pendekatan rekonstruksi model *low-poly* yang dibahas oleh (Xiao et al., 2024).

Efisiensi sistem tidak hanya diperoleh melalui pengurangan jumlah poligon, tetapi juga melalui penerapan *texture baking*. Informasi pencahayaan, bayangan, dan *ambient occlusion* diproses terlebih dahulu di Blender dan disimpan sebagai tekstur statis. Pendekatan tersebut mengurangi kebutuhan perhitungan pencahayaan kompleks secara terus-menerus ketika aplikasi dijalankan. Kim & Park (2021) membedakan penggunaan pencahayaan dinamis dan *baked lighting* dalam proses *real-time rendering*, sedangkan Prasetyo (2024) menunjukkan bahwa penerapan *baked lighting* dapat dipadukan dengan pemodelan *low-poly* untuk mempertahankan kualitas visual sekaligus mendukung efisiensi proses rendering. Hasil visualisasi pada penelitian ini memperlihatkan bahwa kesan kedalaman pada dinding, atap, jendela, dan pertemuan antarobjek tetap dapat dipertahankan meskipun sistem tidak menggunakan pencahayaan waktu nyata yang kompleks. Pengaturan material dan pencahayaan yang tepat juga berperan dalam membentuk persepsi visual objek tiga dimensi agar tetap memiliki kedalaman dan karakter yang jelas (Malpica, 2023).

Penerapan kompresi Draco pada geometri dan KTX2 pada tekstur turut berkontribusi terhadap pengurangan ukuran aset dari lebih dari 3,9 GB menjadi kurang dari 50 MB. Hasil tersebut menunjukkan bahwa optimalisasi aset tidak cukup dilakukan hanya

melalui penyederhanaan geometri, tetapi juga perlu didukung oleh pengelolaan tekstur dan format distribusi yang efisien. Pengurangan ukuran aset menjadi faktor penting karena media berbasis web harus mentransmisikan data melalui jaringan sebelum divisualisasikan pada perangkat pengguna. F. Ramadhan & Nugroho (2023) ; T. Ramadhan & Santoso (2022) menempatkan optimasi performa WebGL sebagai aspek penting dalam pengembangan visualisasi arsitektur tiga dimensi berbasis web. Standar WebGL juga memungkinkan proses grafis dilakukan melalui peramban dengan memanfaatkan kemampuan akselerasi perangkat keras pengguna (Group, 2021). Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa kombinasi penyederhanaan geometri, kompresi aset, dan pengelolaan tekstur mampu menjaga karakter visual model sekaligus menekan ukuran data secara signifikan.

Pengujian performa menunjukkan rata-rata kecepatan rendering sebesar 160 FPS pada Chrome serta 164 FPS pada Edge dan Firefox. Nilai tersebut telah melampaui target kelancaran visual sebesar 30–60 FPS sehingga aplikasi dapat memberikan respons pergerakan kamera yang baik pada perangkat pengujian. Hasil tersebut konsisten dengan penilaian UAT pada aspek performa teknis yang mencapai 90,93% dan menjadi aspek dengan nilai tertinggi. Temuan ini mengindikasikan bahwa strategi optimasi geometri, tekstur, dan pencahayaan yang diterapkan mampu mendukung performa sistem. Pengembangan visualisasi tiga dimensi berbasis browser memang membutuhkan keseimbangan antara kompleksitas visual dan kemampuan sistem dalam mempertahankan proses rendering yang stabil (Butean, 2021; F. Ramadhan & Nugroho, 2023).

Meskipun rata-rata FPS tergolong tinggi, nilai minimum masih berada pada rentang 5–8 FPS. Penurunan sesaat tersebut menunjukkan bahwa terdapat kondisi tertentu yang dapat meningkatkan beban pemrosesan, misalnya ketika aset pertama kali dimuat atau ketika tampilan melibatkan banyak objek secara bersamaan. Hasil performa juga perlu ditafsirkan secara hati-hati karena pengujian dilakukan menggunakan satu jenis laptop dengan spesifikasi relatif tinggi. Pengembangan aplikasi berbasis web idealnya mempertimbangkan karakteristik perangkat yang beragam karena sistem dapat diakses melalui komputer, laptop, tablet, maupun perangkat bergerak. Prinsip pengembangan aplikasi *cross-platform* menuntut adanya kemampuan adaptasi terhadap perbedaan perangkat dan lingkungan penggunaan (Ramadhan & Santoso, 2022). Oleh karena itu, pengujian lebih lanjut pada telepon pintar dan komputer berspesifikasi rendah diperlukan untuk memastikan kestabilan performa pada kondisi penggunaan yang lebih beragam.

2. Penerimaan Pengguna terhadap Media Informasi Peta 3D

Hasil UAT terhadap 36 responden memperoleh skor 1.882 dari skor ideal 2.160 atau sebesar 87,13%. Persentase tersebut termasuk kategori sangat layak berdasarkan kriteria interpretasi yang digunakan dalam penelitian (Sugiyono, 2019). Hasil ini menunjukkan bahwa media informasi peta 3D interaktif dapat diterima dengan baik oleh responden yang terdiri atas pelajar atau mahasiswa, dosen dan tenaga kependidikan, staf, serta pengguna umum. Penerimaan tersebut berkaitan dengan kemampuan sistem dalam menggabungkan tampilan lingkungan kampus, navigasi, *tooltip*, panel informasi, deskripsi fasilitas, dan galeri visual dalam satu antarmuka. Penggunaan media informasi interaktif memungkinkan pengguna memperoleh informasi secara lebih aktif karena pengguna dapat menentukan sendiri objek dan informasi yang ingin dieksplorasi. Interaktivitas menjadi salah satu karakteristik penting media digital karena memberi ruang kepada pengguna untuk berpartisipasi secara langsung dalam proses memperoleh informasi (Hidayat et al., 2023).

Visualisasi tiga dimensi juga memberi kesempatan kepada pengguna untuk mengamati lingkungan dari berbagai sudut pandang, melakukan *orbit*, *pan*, dan *zoom*, serta memilih bangunan untuk memperoleh informasi yang lebih spesifik. Cravero & Pardo (2022) mengaitkan interaktivitas dengan pengalaman pengguna dalam lingkungan virtual, sedangkan Wibowo & Nugroho (2021) menekankan pentingnya desain media informasi interaktif dalam mendukung penyampaian informasi secara efektif. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa peta tiga dimensi yang dilengkapi fungsi interaksi tidak hanya berfungsi sebagai tampilan visual, tetapi menjadi media yang memungkinkan pengguna melakukan eksplorasi informasi spasial sesuai dengan kebutuhannya.

Aspek performa teknis memperoleh nilai tertinggi sebesar 90,93%, diikuti kejelasan informasi dan antarmuka sebesar 87,22%, daya tarik visual dan estetika sebesar 86,94%, serta kemudahan navigasi dan kontrol kamera sebesar 84,31%. Tingginya penilaian terhadap kejelasan informasi menunjukkan bahwa integrasi antara objek 3D dan panel informasi mampu menyampaikan nama serta fungsi gedung secara efektif. Teknik *raycasting* memungkinkan sistem mendeteksi objek yang dipilih pengguna dan menghubungkannya dengan informasi yang relevan. Anto et al. (2023) menunjukkan bahwa teknik *raycasting* dapat digunakan untuk mendukung interaksi pengguna dengan objek tiga dimensi berbasis web. Penerapan teknik tersebut pada penelitian ini memperkuat fungsi peta sebagai media

informasi karena pengguna dapat memperoleh informasi langsung dari objek yang dipilih tanpa berpindah ke halaman terpisah.

Penyajian informasi berbasis objek juga mendukung pemahaman spasial pengguna terhadap lingkungan kampus. Maulana et al. (2022)menunjukkan pemanfaatan peta interaktif tiga dimensi untuk navigasi ruang publik, sedangkan Zulfa & Arifin (2025) menempatkan visualisasi spasial dalam lingkungan virtual sebagai sarana penyampaian informasi fasilitas kampus. Temuan penelitian ini mendukung penggunaan peta 3D sebagai media informasi yang menghubungkan bentuk fisik bangunan dengan informasi fungsionalnya. Pengguna tidak hanya mengetahui keberadaan suatu gedung, tetapi juga dapat mengenali karakter visual dan memperoleh informasi mengenai fungsi fasilitas tersebut secara kontekstual.

Nilai kemudahan navigasi dan kontrol kamera sebesar 84,31% merupakan nilai terendah dibandingkan aspek lainnya, meskipun masih berada dalam kategori sangat layak. Temuan tersebut menunjukkan bahwa performa teknis yang tinggi belum secara otomatis menjamin seluruh mekanisme navigasi sesuai dengan kebiasaan setiap pengguna. Beberapa responden menilai batas *zoom* masih kurang fleksibel dan mengusulkan penambahan kontrol menggunakan papan ketik atau tombol WASD. Responden juga menyoroti pengulangan petunjuk penggunaan setiap kali aplikasi dibuka. Masukan tersebut menunjukkan perlunya pengembangan kontrol yang lebih adaptif, seperti pilihan antara navigasi berbasis orbit dan navigasi bebas, penyimpanan status panduan penggunaan, tombol pengembalian kamera, serta pengaturan sensitivitas kontrol. Desain interaksi yang baik perlu mempertimbangkan kemudahan pengguna dalam memahami mekanisme sistem karena tingkat interaktivitas yang terlalu rumit dapat memengaruhi kenyamanan pengalaman pengguna (Cravero & Pardo, 2022; Hidayat et al., 2023).

Komposisi responden yang didominasi pelajar dan mahasiswa sebesar 61,11% juga perlu diperhatikan dalam menginterpretasikan hasil UAT. Kelompok tersebut merupakan salah satu pengguna utama media informasi kampus sehingga penilaiannya relevan dengan tujuan pengembangan produk. Keterwakilan dosen, tenaga kependidikan, staf, dan pengguna umum masih relatif terbatas. Penelitian selanjutnya perlu melibatkan responden yang lebih seimbang dan jumlah sampel yang lebih besar agar penerimaan pengguna dapat dinilai dari kelompok dengan karakteristik yang lebih beragam. Pengujian juga dapat diarahkan pada efektivitas navigasi melalui pengukuran waktu pencarian gedung, tingkat kesalahan rute, keberhasilan menemukan fasilitas, dan kemudahan pengguna memahami posisi antarlokasi.

Pengembangan tur virtual dan sistem kampus tiga dimensi pada penelitian terdahulu menunjukkan bahwa teknologi tersebut memiliki potensi untuk mendukung pengenalan dan eksplorasi lingkungan pendidikan (Moloo et al., 2016)(Park & Kim, 2024)(Kim & Park, 2021).

Hasil penelitian secara keseluruhan menunjukkan bahwa kombinasi teknik *low-poly modelling*, *baked lighting*, kompresi Draco, tekstur KTX2, dan visualisasi WebGL mampu menghasilkan media informasi kampus yang efisien sekaligus tetap memiliki kualitas visual yang menarik. Kebaruan penelitian terletak pada penerapan pemodelan manual yang dioptimalkan untuk merepresentasikan lingkungan Institut Teknologi Padang ketika data fotogrametri dan model bangunan digital tidak tersedia. Produk yang dikembangkan tidak hanya menyediakan eksplorasi visual, tetapi juga mengintegrasikan informasi fungsi gedung, panel interaktif, teknik *raycasting*, navigasi kamera, dan distribusi melalui platform web. Capaian kelayakan sebesar 87,13% memperlihatkan bahwa produk sangat layak digunakan sebagai media pengenalan dan informasi lingkungan kampus. Penyempurnaan mekanisme navigasi, pengujian pada perangkat dengan spesifikasi yang lebih beragam, peningkatan keterwakilan responden, serta evaluasi efektivitas pencarian lokasi secara lebih terukur masih diperlukan untuk memperkuat penerapan sistem pada skala yang lebih luas.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menghasilkan media informasi Kampus Institut Teknologi Padang berbasis peta 3D interaktif yang dapat diakses melalui peramban tanpa instalasi aplikasi tambahan. Sistem dikembangkan menggunakan Blender, Three.js, WebGL, React, dan Next.js, kemudian dipublikasikan melalui Cloudflare Pages pada subdomain institusi. Penerapan teknik *low-poly modelling, texture baking*, kompresi Draco, dan tekstur KTX2 mampu menghasilkan visualisasi lingkungan kampus yang tetap informatif dan menarik dengan ukuran aset yang lebih efisien. Seluruh fungsi utama sistem dinyatakan valid melalui pengujian *black-box*, sedangkan hasil *User Acceptance Test* terhadap 36 responden memperoleh tingkat kelayakan sebesar 87,13% dengan kategori sangat layak. Aspek performa teknis memperoleh penilaian tertinggi sebesar 90,93%, yang menunjukkan bahwa pendekatan optimasi aset dan pencahayaan statis mendukung kelancaran proses *rendering* serta kenyamanan penggunaan sistem.

Kontribusi penelitian ini terletak pada pengembangan model visualisasi kampus berbasis web yang mengintegrasikan pemodelan manual *low-poly*, pencahayaan hasil *baking*, navigasi kamera interaktif, dan penyajian informasi fasilitas dalam satu platform. Pendekatan tersebut dapat menjadi alternatif pengembangan media informasi spasial bagi institusi pendidikan yang memiliki keterbatasan data fotogrametri, model bangunan digital, atau perangkat pengguna dengan kemampuan grafis yang beragam. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengujian pada lebih banyak perangkat, khususnya telepon pintar dan komputer berspesifikasi rendah, melibatkan jumlah serta kelompok responden yang lebih beragam, dan mengukur efektivitas navigasi berdasarkan waktu pencarian lokasi, tingkat kesalahan, serta beban kognitif pengguna. Pengembangan sistem juga dapat diarahkan pada penambahan kontrol WASD, pengaturan batas *zoom* yang lebih fleksibel, fitur pencarian rute, informasi ruang secara lebih rinci, dan pengelolaan panduan penggunaan yang menyesuaikan tingkat pengalaman pengguna.

DAFTAR PUSTAKA

Akın, A. T., Usta, Z., & Cömert, Ç. (2024). Elaborating and performing optimization approaches for web-based 3D spatial analysis of 3D city models. *Journal of Spatial Science, 69*(4), 1225–1239. https://doi.org/10.1080/14498596.2024.2377564

Anto, B., Setiawan, A., & Wahyuni, S. (2023). Analisis Teknik Raycasting dalam Interaksi Objek 3D Berbasis Web. *Jurnal Rekayasa Teknologi Informasi, 7*(1), 55–68.

Bakhmut, R., Kunanets, N., Pasichnyk, V., Artemenko, O., & Tsmots, I. (2021). Using augmented reality web-application for providing virtual excursion tours in university campus. In *2021 IEEE 16th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)* (pp. 243–247). IEEE. https://doi.org/10.1109/CSIT52700.2021.9648806

Butean, A. (2021). *Three.js as a reliable engine for web-based 3D visualization*.

Cravero, A., & Pardo, S. (2022). *Interaktivitas dan Pengalaman Pengguna dalam Lingkungan Virtual*.

Erra, U., & Capece, N. (2022). Graphics programming with WebGL. *Journal of Computer Graphics Techniques*.

Hidayat, R., Suryani, L., & Wijaya, A. (2023). Interaktivitas dalam Media Digital: Tantangan dan Peluang dalam Komunikasi Visual. *Jurnal Teknologi Informasi dan Multimedia, 5*(2), 112–125.

Khronos Group. (2021). *WebGL specification*. https://registry.khronos.org/webgl/specs/latest/1.0/

Kim, S., & Park, J. (2021). *Dynamic and baked lighting in real-time rendering*.

Malpica, J. (2023). *Pendekatan Pewarnaan Berbasis Fisika dan Pengaturan Pencahayaan dalam Grafis Komputer*.

Martyastiadi, Y. S., & Citrayani, C. (2013). Transformation of Javanese shadow puppet into 3D characters: Application of 3D low-polygon modeling in 3D game design. In *International Conference on New Media (CONMEDIA 2013)*.

Maulana, H., Sari, D., & Pratama, R. (2022). Implementasi Peta Interaktif 3D untuk Navigasi Ruang Publik. *Journal of Applied Informatics and Computing, 6*(1), 34–41.

Moloo, R. K., Pudaruth, S., Ramodhin, M., & Rozbully, R. B. (2016). A 3D virtual tour of the University of Mauritius using WebGL. In *2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)* (pp. 2891–2894). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICEEOT.2016.7755226

Park, S., & Kim, J. (2024). Browser-based 3D visualization technologies for educational environments. *Computers & Education: Artificial Intelligence, 5*.

Prasetyo, H. (2024). Implementasi Teknik Baked Lighting dan Prinsip Appeal pada Pemodelan Low-Poly. In *Proceeding of Creative Arts and Design Conference (CADC)*.

Pratama, M. A. (2024). *Rancang Bangun Sistem Informasi Geografis Kampus Berbasis Web*. Pustaka Akademik Press.

Putra, D. S., & Heriyanto, B. (2022). Efektivitas Media Digital dalam Penyampaian Informasi di Lingkungan Perguruan Tinggi. *Jurnal Komunikasi Massa, 10*(1), 45–58.

Radianti, J. (2021). *Pemanfaatan Lingkungan Virtual pada Konteks Pendidikan Tinggi*.

Ramadhan, F., & Nugroho, A. S. (2023). Optimasi Performa WebGL untuk Visualisasi Arsitektur 3D Berbasis Web. *Jurnal Teknologi Informasi dan Grafika*.

Ramadhan, T., & Santoso, G. (2022). Pengembangan Aplikasi Web Cross-Platform untuk Navigasi Ruang Publik. *Informatics and Digital Economy Journal, 3*(4), 201–215.

Rodriguez-Hernandez, M., & Dominguez, A. (2023). Interactive 3D campus map with PBR materials for web-based navigation. *Applied Sciences*.

Seo, J., & Kim, K. (2022). Development of a 3D virtual campus tour system using WebGL technology. *Computers & Graphics*.

Sharma, S. (2022). Low-poly 3D modeling for real-time web rendering applications: A performance analysis. *Visual Computing*.

Tost, L., & Grau, S. (2022). *Dasar-Dasar Visualisasi 3D dan Teknik Pemodelan Efisien*.

Wibowo, S., & Nugroho, H. (2021). Desain Media Informasi Interaktif: Prinsip dan Implementasi. *Jurnal Multimedia Indonesia, 12*(2), 77–91.

Wicaksono, A. (2024). Pemanfaatan Library Three.js dalam Pembuatan Media Pembelajaran Interaktif. *Jurnal Multimedia Digital, 6*(1), 12–25.

Xiao, X., Liu, Y., & Zhang, Y. (2024). Iterative low-poly building model reconstruction from mesh soups based on contour. *Remote Sensing, 16*(4), 695. https://doi.org/10.3390/rs16040695

Zulfa, M., & Arifin, Z. (2025). Visualisasi Spasial dalam Lingkungan Virtual untuk Informasi Fasilitas Kampus. *Cyber-Physical Systems Journal, 6*(1), 15–29.