



Analisis Pengembangan dan Evaluasi Virtual World Bertema Lingkungan Pegunungan Menggunakan Metode Research and Development (R&D)

Robby Firmansyah*, Andri Firmansyah

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Informatika, Universitas Pelita Bangsa, Bekasi, Indonesia

Email: ¹*robbyfrmnsyh1933@gmail.com, ²andrifirmansyah@pelitabangsa.ac.id

Email Penulis Korespondensi: robbyfrmnsyh1933@gmail.com

Abstrak—Perkembangan teknologi metaverse dan virtual world membuka peluang pemanfaatan lingkungan virtual sebagai media eksplorasi digital, simulasi, dan pembelajaran interaktif. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada aspek *pedagogis* dan simulasi pembelajaran, sedangkan penelitian yang membahas proses pengembangan *terrain modeling*, pencahayaan, dan atmosfer lingkungan pegunungan secara teknis pada platform Roblox Studio masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi virtual world bertema lingkungan pegunungan menggunakan Roblox Studio serta menganalisis tingkat penerimaan pengguna terhadap lingkungan virtual yang dihasilkan. Penelitian menggunakan metode *Research and Development (R&D)* yang meliputi tahap analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, dan evaluasi. Proses pengembangan dilakukan dengan memanfaatkan fitur *Terrain Editor*, *Future Lighting*, *skybox*, *fog*, serta scripting Lua untuk menghasilkan lingkungan virtual yang interaktif. Evaluasi dilakukan menggunakan kuesioner skala Likert terhadap 67 responden. Hasil penelitian menunjukkan nilai kelayakan sebesar 79,88% yang termasuk kategori baik. Indikator dengan nilai tertinggi adalah kesesuaian world virtual dengan konsep lingkungan pegunungan (4,15), sedangkan indikator dengan nilai terendah adalah tata letak lingkungan yang terstruktur (3,83). Hasil tersebut menunjukkan bahwa virtual world yang dikembangkan mampu memberikan pengalaman eksplorasi yang positif bagi pengguna. Penelitian ini berkontribusi pada penyusunan tahapan pengembangan virtual world bertema lingkungan pegunungan melalui implementasi *terrain modeling*, pengaturan pencahayaan dan atmosfer, serta evaluasi pengalaman pengguna menggunakan pendekatan *Research and Development (R&D)*. Penelitian ini juga memberikan referensi praktis bagi pengembangan lingkungan virtual berbasis metaverse yang dapat dimanfaatkan untuk simulasi, eksplorasi digital, dan media pembelajaran interaktif.

Kata Kunci: Virtual World; Roblox Studio; Metaverse; Terrain Modeling; Research and Development (R&D)

Abstract—The development of metaverse technology and virtual worlds has created opportunities for utilizing virtual environments as media for digital exploration, simulation, and interactive learning. However, most previous studies have primarily focused on pedagogical aspects and learning simulations, while research discussing the technical development of *terrain modeling*, lighting, and mountainous environmental atmospheres on the Roblox Studio platform remains limited. This study aims to develop and evaluate a mountainous environment-themed virtual world using Roblox Studio and to analyze user acceptance of the resulting virtual environment. The research employed the Research and Development (R&D) method, consisting of needs analysis, design, implementation, testing, and evaluation stages. The development process utilized *Terrain Editor*, *Future Lighting*, *skybox*, *fog*, and Lua scripting features to create an interactive virtual environment. Evaluation was conducted using a Likert-scale questionnaire distributed to 67 respondents. The results showed a feasibility score of 79.88%, which falls into the good category. The highest-rated indicator was the suitability of the virtual world to the mountainous environment concept (4.15), while the lowest-rated indicator was the structured layout of the environment (3.83). These findings indicate that the developed virtual world was able to provide a positive exploration experience for users. The contribution of this research lies in establishing a systematic development framework for a mountainous environment-themed virtual world through the implementation of *terrain modeling*, lighting and atmospheric configuration, and user experience evaluation using the *Research and Development (R&D)* approach. In addition, this study provides a practical reference for the development of metaverse-based virtual environments that can be utilized for simulation, digital exploration, and interactive learning applications.

Keywords: Virtual World; Roblox Studio; Metaverse; Terrain Modeling; Research and Development (R&D)

1. PENDAHULUAN

Lingkungan pegunungan memiliki karakteristik *topografi* yang kompleks dan menjadi salah satu representasi lingkungan alam yang sering digunakan dalam simulasi digital, pembelajaran geografi, maupun media eksplorasi virtual. Meskipun demikian, pembangunan lingkungan pegunungan virtual memerlukan teknik *terrain modeling*, pengaturan pencahayaan, dan atmosfer yang tepat agar mampu menghasilkan pengalaman eksplorasi yang realistis. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada penggunaan metaverse sebagai media pembelajaran dan simulasi, sementara penelitian yang membahas implementasi teknis *terrain modeling* lingkungan pegunungan pada platform Roblox Studio masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang secara khusus mengkaji proses pengembangan dan evaluasi virtual world bertema lingkungan pegunungan menggunakan Roblox Studio.

Salah satu platform yang berkembang pesat adalah Roblox, yang menyediakan Roblox Studio sebagai alat pengembangan world virtual tiga dimensi dengan tingkat aksesibilitas yang tinggi. Roblox Studio memungkinkan pengembang pemula maupun akademisi untuk merancang lingkungan virtual interaktif menggunakan bahasa pemrograman *Lua* tanpa memerlukan perangkat keras atau *software* tingkat lanjut [1]. Lingkungan pegunungan memiliki karakteristik visual dan *topografi* yang kompleks, seperti kontur tanah yang tidak rata, tebing, lembah, *vegetasi*, serta kondisi pencahayaan dan atmosfer yang dinamis. Karakteristik tersebut menjadikan tema pegunungan sebagai studi kasus yang relevan untuk menguji kemampuan Roblox Studio dalam memodelkan *terrain*, mengatur pencahayaan, serta membangun interaksi pengguna secara realistis. Dalam konteks akademik, pengembangan *world virtual* bertema



pegunungan tidak hanya berfokus pada aspek visual, tetapi juga pada proses perancangan dan implementasi teknis yang meliputi pembuatan terrain, pengaturan *lighting* dan atmosfer, serta penerapan elemen interaktif yang memungkinkan pengguna melakukan eksplorasi lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini secara spesifik melakukan perancangan, implementasi, dan evaluasi sebuah virtual world bertema lingkungan pegunungan menggunakan Roblox Studio sebagai media pengembangan. Penelitian ini dilakukan dengan membangun sebuah virtual world tiga dimensi yang dapat dieksplorasi oleh pengguna, kemudian mengevaluasi hasil implementasi tersebut dari aspek visual, performa sistem, dan pengalaman pengguna. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menghasilkan sebuah produk, tetapi juga mendokumentasikan tahapan pengembangan dan hasil evaluasinya sebagai kontribusi akademik.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada bagaimana Pengembangan dan Evaluasi Virtual World Bertema Lingkungan Pegunungan, serta sejauh mana dunia virtual yang dikembangkan mampu memberikan pengalaman eksplorasi yang baik bagi pengguna. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan dunia virtual berbasis *game engine*, khususnya dalam konteks pendidikan dan simulasi lingkungan. Berbagai penelitian terkait pengembangan lingkungan virtual dan pemanfaatan teknologi *metaverse* telah banyak dilakukan dalam beberapa tahun terakhir.

Penelitian oleh Han, Liu, dan Gao menunjukkan bahwa platform Roblox memiliki potensi besar sebagai media pembelajaran berbasis *metaverse* karena mampu mendukung kolaborasi, kreativitas, serta pembelajaran berbasis proyek secara interaktif. Namun, penelitian tersebut lebih berfokus pada kajian pedagogis dan belum membahas secara mendalam proses teknis pembangunan lingkungan virtual pada Roblox Studio [2]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Cho dan Park membahas pengembangan simulasi *Virtual Reality* untuk pembelajaran lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan lingkungan virtual mampu meningkatkan pemahaman konsep dan keterlibatan pengguna secara signifikan dibandingkan metode pembelajaran konvensional [3]. Penelitian oleh B. Kye, N. Han, E. Kim, Y. Park, dan S. Jo, mendefinisikan 4 jenis *metaverse* dan menjelaskan potensi serta keterbatasan aplikasi pendidikannya. Peta jalan *metaverse* mengategorikan *metaverse* menjadi 4 jenis: realitas tertambah (*augmented reality*), pencatatan kehidupan (*lifelogging*), dunia cermin (*mirror world*), dan realitas virtual (*virtual reality*) [4]. Kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa teknologi virtual mampu memberikan pengalaman belajar yang lebih imersif, namun masih berfokus pada aspek pembelajaran dan belum menitikberatkan pada proses perancangan terrain atau lingkungan virtual secara detail. Dalam konteks pengembangan lingkungan virtual berbasis Roblox, penelitian oleh Wijaya dkk. mengembangkan konsep *virtual tourism* berbasis Roblox *Metaverse* untuk promosi wisata alam. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa Roblox mampu menghadirkan pengalaman eksplorasi virtual yang interaktif dan menarik bagi pengguna [5]. Selain itu, penelitian oleh Fajri dkk. membahas integrasi Blender dan Roblox Studio dalam pengembangan aplikasi 3D interaktif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi kedua platform tersebut mampu mempermudah pembangunan lingkungan virtual yang kompleks dan realistis [6]. Meskipun demikian, penelitian tersebut lebih berfokus pada integrasi perangkat lunak dan implementasi objek 3D, sehingga pembahasan terkait teknik pembentukan terrain dan pengaturan atmosfer lingkungan virtual masih terbatas.

Penelitian mengenai efektivitas lingkungan virtual imersif juga dilakukan oleh Makransky dan Petersen melalui pendekatan *meta-analysis*. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa lingkungan virtual imersif memberikan dampak positif terhadap motivasi belajar, keterlibatan pengguna, dan pemahaman konsep [7]. Selain itu, Mystakidis menjelaskan bahwa *metaverse* merupakan lingkungan digital terintegrasi yang memiliki potensi besar untuk diterapkan pada bidang pendidikan, simulasi, dan pengembangan dunia virtual berbasis *game engine* [8].

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, dapat diketahui bahwa pengembangan lingkungan virtual berbasis VR maupun Roblox telah banyak dimanfaatkan untuk pembelajaran, simulasi, dan eksplorasi digital. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada aspek pedagogis, simulasi pembelajaran, dan integrasi teknologi, sedangkan pembahasan mengenai proses implementasi terrain modeling, pengaturan pencahayaan, atmosfer, serta pembangunan lingkungan pegunungan virtual secara detail masih belum banyak dibahas.

Kontribusi utama penelitian ini adalah menghasilkan model pengembangan virtual world bertema lingkungan pegunungan yang mengintegrasikan terrain modeling, pengaturan pencahayaan, atmosfer, dan interaksi pengguna dalam satu lingkungan virtual yang utuh. Selain itu, penelitian ini memberikan evaluasi *empiris* terhadap pengalaman pengguna melalui pengukuran tingkat kelayakan dan penerimaan pengguna terhadap lingkungan virtual yang dikembangkan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menghasilkan produk virtual world, tetapi juga menyediakan referensi implementasi dan evaluasi yang dapat digunakan sebagai acuan dalam pengembangan lingkungan virtual berbasis *metaverse* pada penelitian selanjutnya.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Berisi Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) yang bertujuan untuk mengembangkan sebuah virtual world berbasis Roblox Studio dengan tema lingkungan pegunungan. Metode R&D dipilih karena penelitian tidak hanya berfokus pada analisis teori, tetapi juga menghasilkan sebuah produk digital berupa lingkungan virtual interaktif yang dapat digunakan dan dievaluasi secara langsung oleh pengguna. Metode ini memungkinkan proses pengembangan dilakukan secara sistematis mulai dari tahap analisis kebutuhan hingga evaluasi dan penyempurnaan sistem [9].



Tahapan penelitian dimulai dengan analisis kebutuhan sistem dan identifikasi karakteristik lingkungan virtual yang akan dikembangkan. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan informasi terkait kebutuhan perangkat keras, perangkat lunak, serta fitur-fitur yang diperlukan dalam pembangunan. Selain itu, dilakukan studi literatur terhadap penelitian terdahulu yang berkaitan dengan teknologi *virtual reality* [10],[11], *metaverse* [12],[13],[14], dan pengembangan lingkungan virtual berbasis Roblox Studio untuk memperoleh referensi konseptual dan teknis yang relevan.

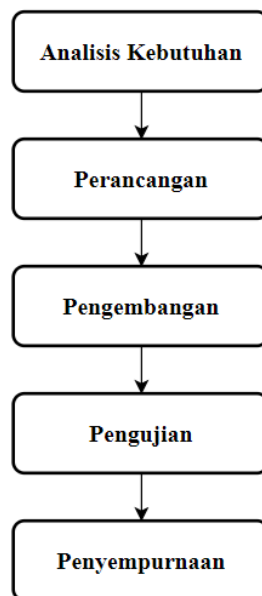
Tahap berikutnya adalah proses perancangan sistem. Pada tahap ini dilakukan desain terrain pegunungan, penentuan tata letak objek lingkungan, pengaturan pencahayaan, atmosfer, dan jalur eksplorasi pengguna. Perancangan dilakukan menggunakan fitur Terrain Editor pada Roblox Studio untuk menghasilkan kontur lingkungan yang menyerupai kondisi pegunungan nyata. Selain itu, dilakukan perencanaan interaksi dasar pengguna agar pengguna dapat melakukan eksplorasi lingkungan virtual secara nyaman dan interaktif.

Setelah tahap perancangan selesai, proses dilanjutkan ke tahap implementasi sistem menggunakan Roblox Studio. Pada tahap ini dilakukan pembangunan terrain pegunungan menggunakan fitur seperti *Draw Tool*, *Sculpt Tool*, *Smooth Tool*, dan *Paint Tool* [15],[16],[17]. Selanjutnya dilakukan penambahan objek lingkungan seperti pohon, batu, jalur pendakian, dan elemen pendukung lainnya untuk meningkatkan realisme lingkungan virtual. Pengaturan *lighting* dan atmosfer juga diterapkan menggunakan fitur *Future Lighting*, *fog*, dan *skybox* untuk menciptakan suasana lingkungan pegunungan yang lebih realistis dan imersif. Selain itu, diterapkan interaksi dasar menggunakan *scripting* Lua agar pengguna dapat melakukan navigasi dan eksplorasi lingkungan virtual dengan lebih baik [18],[19].

Tahap selanjutnya adalah pengujian dan evaluasi sistem. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah *virtual world* yang dikembangkan telah berjalan sesuai dengan tujuan penelitian. Evaluasi dilakukan menggunakan metode deskriptif kuantitatif melalui penyebaran kuesioner kepada responden. Responden diminta memberikan penilaian terhadap aspek visual lingkungan, desain terrain, pencahayaan, atmosfer, dan kenyamanan eksplorasi berdasarkan tampilan yang telah dikembangkan. Instrumen evaluasi menggunakan skala Likert dengan rentang nilai 1 sampai 5 [20]. Total skor dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Persentase} = \frac{\text{Total Skor Aktual}}{\text{Skor Maksimal}} \times 100\% \quad (1)$$

Hasil evaluasi kemudian dianalisis untuk mengetahui tingkat kelayakan dan kualitas *virtual world* yang telah dikembangkan. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut dilakukan tahap penyempurnaan sistem berupa perbaikan visual terrain, optimasi performa, penyesuaian pencahayaan, serta penyempurnaan jalur navigasi pengguna agar lingkungan virtual menjadi lebih stabil, realistis, dan nyaman digunakan. Tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian Metode R&D

Berdasarkan Gambar 1, penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) yang terdiri dari lima tahapan utama, yaitu analisis kebutuhan, perancangan, pengembangan, pengujian, dan penyempurnaan sistem. Metode ini dipilih karena sesuai untuk pengembangan produk berbasis teknologi yang memerlukan proses perancangan, implementasi, serta evaluasi secara bertahap.

Tahap analisis kebutuhan dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan sistem, menentukan konsep lingkungan pegunungan yang akan dikembangkan, serta mengumpulkan referensi yang mendukung proses pembangunan virtual world. Tahap perancangan dilakukan dengan menyusun desain lingkungan virtual, meliputi topografi terrain, objek lingkungan, jalur eksplorasi, dan elemen visual yang akan diterapkan. Selanjutnya, tahap pengembangan dilakukan menggunakan Roblox Studio dengan memanfaatkan fitur terrain modeling, pengaturan pencahayaan, atmosfer, dan



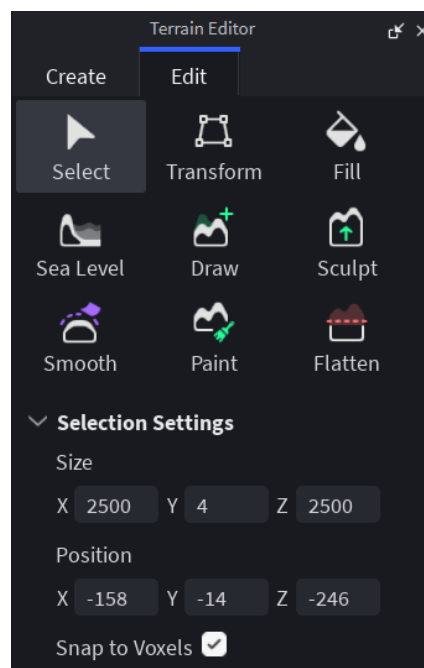
scripting untuk menghasilkan lingkungan virtual yang interaktif. Setelah proses pengembangan selesai, dilakukan tahap pengujian untuk memastikan seluruh fitur dan fungsi sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah ditetapkan. Tahap terakhir adalah penyempurnaan sistem berdasarkan hasil pengujian dan evaluasi sehingga *virtual world* yang dihasilkan memiliki kualitas visual, fungsionalitas, dan kenyamanan penggunaan yang lebih baik. Setelah proses pengembangan selesai, dilakukan pengujian menggunakan metode Black Box Testing untuk memastikan seluruh fitur sistem berjalan sesuai kebutuhan. Hasil pengujian kemudian digunakan sebagai dasar dalam melakukan penyempurnaan sistem sebelum dilaksanakan evaluasi kepada responden.

Tahap terakhir adalah penyempurnaan sistem yang dilakukan berdasarkan hasil pengujian dan evaluasi. Pada tahap ini dilakukan perbaikan terhadap aspek visual, navigasi, maupun fungsionalitas yang masih perlu ditingkatkan sehingga *virtual world* yang dihasilkan memiliki kualitas yang lebih baik dan siap digunakan dalam proses evaluasi oleh responden.

2.2 Metode Pengembangan Virtual World

Pengembangan *virtual world* pada penelitian ini dilakukan menggunakan platform Roblox Studio sebagai media pembangunan lingkungan virtual tiga dimensi. Roblox Studio dipilih karena menyediakan fitur pengembangan terrain, pengaturan pencahayaan dan atmosfer, serta dukungan bahasa pemrograman Lua yang memungkinkan pembangunan lingkungan virtual secara interaktif dan efisien.

Proses pengembangan diawali dengan pembentukan lingkungan virtual yang merepresentasikan karakteristik wilayah pegunungan. Tahap ini meliputi perancangan topografi lingkungan berupa pegunungan, lereng, lembah, dan jalur eksplorasi yang disesuaikan dengan konsep lingkungan alam. Selanjutnya dilakukan penerapan material permukaan pada area terrain untuk meningkatkan kualitas visual dan memperkuat representasi lingkungan pegunungan secara lebih realistis. Setelah struktur dasar lingkungan terbentuk, dilakukan penambahan berbagai objek pendukung seperti vegetasi, batuan, dan elemen dekoratif lainnya. Penempatan objek dilakukan dengan mempertimbangkan aspek estetika, keseimbangan lingkungan, dan kenyamanan navigasi pengguna. Keberadaan objek lingkungan bertujuan untuk meningkatkan tingkat realisme dan memberikan pengalaman eksplorasi yang lebih menarik. Proses pembentukan lingkungan virtual diawali dengan pemanfaatan fitur Terrain Editor yang tersedia pada Roblox Studio. Fitur ini digunakan untuk membangun topografi lingkungan pegunungan yang menjadi dasar pengembangan *virtual world*. Tampilan *Terrain Editor* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Terrain Editor* pada Roblox Studio

Berdasarkan Gambar 2, *Terrain Editor* menyediakan berbagai fungsi yang mendukung proses pembentukan topografi lingkungan virtual. Fitur tersebut memungkinkan pengembang membangun variasi elevasi terrain sehingga dapat menghasilkan bentuk pegunungan, lereng, dan lembah yang menyerupai kondisi lingkungan alam. Ketersediaan fitur pengelolaan terrain menjadi faktor penting dalam mendukung pembangunan lingkungan virtual yang sesuai dengan konsep penelitian.

Tahap berikutnya adalah implementasi aspek visual melalui pengaturan pencahayaan dan atmosfer lingkungan. Pengaturan ini dilakukan untuk menciptakan suasana lingkungan pegunungan yang lebih imersif dengan memanfaatkan teknologi pencahayaan dinamis serta efek atmosfer yang mendukung kualitas visual lingkungan virtual. Selain meningkatkan estetika lingkungan, pengaturan visual juga berperan dalam meningkatkan kenyamanan pengguna selama melakukan eksplorasi. Untuk mendukung interaksi pengguna, sistem dilengkapi dengan mekanisme navigasi dan



eksplorasi yang memungkinkan pengguna menjelajahi berbagai area lingkungan virtual. Implementasi interaksi dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Lua sehingga pengguna dapat berinteraksi dengan lingkungan virtual secara lebih aktif dan responsif.

Tahap akhir pengembangan dilakukan melalui pengujian sistem untuk memastikan seluruh komponen *virtual world* berfungsi sesuai dengan kebutuhan penelitian. Pengujian dilakukan terhadap aspek fungsionalitas sistem, kualitas visual lingkungan, kenyamanan navigasi, dan stabilitas aplikasi. Hasil pengujian kemudian digunakan sebagai dasar dalam melakukan optimasi dan penyempurnaan sistem sebelum dilaksanakan evaluasi kepada responden.

2.3 Spesifikasi Pengembangan

Pengembangan dan pengujian virtual world pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak yang mendukung proses pembangunan lingkungan virtual berbasis Roblox Studio. Spesifikasi lingkungan pengembangan digunakan untuk memastikan proses perancangan, implementasi, dan pengujian sistem dapat berjalan dengan baik. Adapun spesifikasi perangkat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Lingkungan Pengembangan

Komponen	Spesifikasi
System operasi	Windows 11 64-bit
Processor	Intel Core i3 Gen-11
RAM	8 GB
Memori penyimpanan	SSD 256 GB
GPU	Intel UHD Graphics
Platform pengembangan	Roblox Studio
Bahasa pemrograman	Lua
Platform pengujian	Roblox Player
Browser pendukung	Google Chrome
Koneksi internet	Wi-Fi

Berdasarkan Tabel 1, proses pengembangan dilakukan menggunakan Roblox Studio sebagai platform utama dengan dukungan bahasa pemrograman Lua untuk implementasi interaksi pengguna. Spesifikasi perangkat yang digunakan dinilai memadai untuk menjalankan proses pembangunan terrain, pengaturan visual, serta pengujian secara optimal.

2.4 Metode Pengujian

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan seluruh fitur pada virtual world yang dikembangkan dapat berfungsi sesuai dengan kebutuhan penelitian. Metode pengujian yang digunakan adalah Black Box Testing, yaitu metode pengujian yang berfokus pada pengamatan fungsi sistem berdasarkan masukan dan keluaran tanpa memperhatikan struktur kode program yang digunakan. Pengujian dilakukan terhadap fitur-fitur utama yang terdapat pada virtual world, meliputi navigasi pengguna, tampilan terrain, pencahayaan lingkungan, atmosfer virtual, serta interaksi pengguna dengan lingkungan virtual. Tujuan pengujian adalah untuk memastikan setiap fitur dapat berjalan dengan baik dan memberikan pengalaman eksplorasi yang sesuai dengan rancangan sistem. Hasil pengujian Black Box Testing dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Black Box Testing

No	Fitur yang diuji	Skenario pengujian	Hasil yang diharapkan	Hasil pengujian
1	Navigasi karakter	Pengguna menggerakkan karakter ke berbagai area virtual world	Karakter dapat bergerak dan berpindah lokasi dengan baik	Berhasil
2	Terrain environment	Pengguna menjelajahi area pegunungan dan jalur eksplorasi	Terrain ditampilkan sesuai rancangan	Berhasil
3	Lighting system	Pengguna mengamati pencahayaan pada berbagai area lingkungan	Efek pencahayaan tampil dengan baik	Berhasil
4	Atmosphere effect	Pengguna mengamati efek kabut dan langit virtual	Efek atmosfer berjalan sesuai konfigurasi	Berhasil
5	Object rendering	Pengguna mengamati objek vegetasi, batuan, dan dekorasi lingkungan	Seluruh objek tampil dengan baik	Berhasil
6	User interaction	Pengguna melakukan eksplorasi pada area virtual	Interaksi dan navigasi berjalan normal	Berhasil

Berdasarkan Tabel 2, seluruh fitur utama berhasil berjalan sesuai dengan fungsi yang dirancang. Pengujian menunjukkan bahwa navigasi pengguna, tampilan terrain, pencahayaan, atmosfer, serta interaksi dalam lingkungan virtual dapat beroperasi dengan baik tanpa ditemukan kesalahan fungsi yang signifikan. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem telah memenuhi kebutuhan fungsional sebelum dilakukan evaluasi kepada responden.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan sebuah virtual world berbasis Roblox Studio dengan tema lingkungan pegunungan yang dirancang untuk memberikan pengalaman eksplorasi visual secara interaktif dan imersif. Proses pengembangan dilakukan melalui beberapa tahapan utama, yaitu pembentukan terrain, pengaturan pencahayaan dan atmosfer, penambahan objek lingkungan, implementasi interaksi pengguna, serta evaluasi pengalaman pengguna terhadap lingkungan virtual yang telah dikembangkan.

Pengembangan dilakukan dengan memanfaatkan fitur *Terrain Editor* pada Roblox Studio sebagai komponen utama dalam pembentukan lingkungan tiga dimensi. Fokus utama penelitian ini terletak pada implementasi terrain modeling untuk menghasilkan lingkungan pegunungan yang realistis dan nyaman dieksplorasi oleh pengguna. Selain itu, penelitian juga menekankan pada pengaturan visual lingkungan melalui sistem pencahayaan dan atmosfer agar pengalaman eksplorasi menjadi lebih menarik.

3.1 Implementasi Terrain Lingkungan Pegunungan

Tahap awal pengembangan dilakukan dengan membentuk terrain dasar lingkungan pegunungan menggunakan fitur Terrain Editor pada Roblox Studio. Terrain dibangun secara bertahap untuk menghasilkan bentuk topografi yang menyerupai kondisi pegunungan nyata, seperti bukit, lereng, lembah, dan jalur pendakian.

Setelah proses terrain modeling selesai dilakukan, diperoleh lingkungan virtual dengan karakteristik topografi pegunungan yang menjadi area utama eksplorasi pengguna. Hasil implementasi terrain pegunungan yang dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Implementasi *Terrain* Pegunungan pada Roblox Studio

Berdasarkan Gambar 3, terrain yang dikembangkan berhasil menampilkan variasi elevasi berupa pegunungan, lereng, dan area dataran yang membentuk lingkungan virtual secara lebih realistis. Selain itu, penerapan material permukaan dan jalur eksplorasi membantu meningkatkan kualitas visual serta mendukung kenyamanan navigasi pengguna selama menjelajahi lingkungan virtual. Hasil ini menunjukkan bahwa proses terrain modeling mampu menghasilkan representasi lingkungan pegunungan yang sesuai dengan tujuan penelitian. Untuk memberikan gambaran mengenai karakteristik lingkungan virtual yang dikembangkan, beberapa parameter implementasi terrain disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter Implementasi Terrain

Parameter	Deskripsi
Jenis terrain	Pegunungan
Elemen topografi	Bukit, lereng
Material permukaan	Rumput, tanah, batu, pasir
Jalur eksplorasi	Tersedia
Tujuan implementasi	Simulasi lingkungan pegunungan

Berdasarkan Tabel 3, lingkungan virtual yang dikembangkan terdiri atas berbagai elemen topografi dan material permukaan yang mendukung representasi lingkungan pegunungan. Kombinasi elemen tersebut berperan dalam meningkatkan kualitas visual serta menciptakan pengalaman eksplorasi yang lebih realistis bagi pengguna.

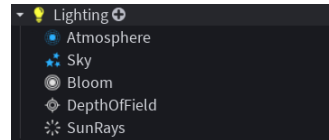
3.2 Implementasi Pencahayaan dan Atmosfer

Setelah proses pembentukan terrain selesai, tahap berikutnya adalah pengaturan pencahayaan dan atmosfer lingkungan virtual. Pengaturan visual lingkungan menjadi salah satu faktor penting dalam menciptakan pengalaman eksplorasi yang imersif dan realistis bagi pengguna.

Penelitian ini menggunakan teknologi *Future Lighting* yang tersedia pada Roblox Studio untuk menghasilkan pencahayaan yang lebih realistis. Pengaturan pencahayaan dilakukan dengan menyesuaikan arah cahaya matahari, intensitas cahaya, warna lingkungan, serta efek bayangan. Penggunaan sistem pencahayaan ini mampu memberikan efek visual yang lebih natural pada permukaan terrain dan objek lingkungan.



Selain pencahayaan, diterapkan pula pengaturan atmosfer menggunakan efek *fog* dan *skybox*. Efek *fog* digunakan untuk menciptakan suasana pegunungan berkabut yang identik dengan lingkungan alam dataran tinggi. Pengaturan intensitas kabut dilakukan secara bertahap agar tidak mengganggu jarak pandang pengguna selama eksplorasi. Penggunaan *skybox* bertujuan untuk menciptakan latar langit yang sesuai dengan konsep lingkungan pegunungan. Kombinasi antara pencahayaan, atmosfer, dan *skybox* menghasilkan suasana lingkungan virtual yang lebih hidup dan menarik secara visual. Untuk meningkatkan kualitas visual dan menciptakan suasana lingkungan yang lebih imersif, dilakukan pengaturan pencahayaan dan atmosfer pada world virtual. Implementasi pengaturan visual tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaturan Pencahayaan dan Atmosfer pada Virtual World

Berdasarkan Gambar 4, penerapan pencahayaan dan atmosfer berhasil menciptakan suasana lingkungan pegunungan yang lebih alami dan menarik. Penggunaan efek pencahayaan, bayangan, dan kabut memberikan kesan kedalaman visual yang lebih baik sehingga meningkatkan persepsi realisme lingkungan virtual. Selain itu, pengaturan visual tersebut mendukung kenyamanan pengguna selama melakukan eksplorasi. Kualitas visual lingkungan virtual juga dipengaruhi oleh pengaturan pencahayaan dan atmosfer. Parameter yang digunakan dalam implementasi visual disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter Pencahayaan dan Atmosfer

Parameter	Implementasi
Teknologi lighting	Future lighting
Atmosfer	Fog
Latar langit	Skybox
Tujuan	Meningkatkan relisme visual

Berdasarkan Tabel 4, penerapan teknologi pencahayaan dan efek atmosfer digunakan untuk meningkatkan realisme lingkungan virtual. Kombinasi pencahayaan dinamis, efek kabut, dan latar langit membantu menciptakan suasana lingkungan pegunungan yang lebih imersif dan nyaman bagi pengguna.

3.3 Implementasi Objek Lingkungan

Untuk meningkatkan kualitas visual lingkungan virtual, dilakukan penambahan berbagai objek lingkungan seperti pohon, batu, vegetasi, dan jalur eksplorasi. Objek-objek tersebut ditempatkan pada area tertentu dengan mempertimbangkan keseimbangan visual dan kenyamanan navigasi pengguna.

Vegetasi seperti pohon dan rumput digunakan untuk memperkuat suasana alam pegunungan. Penempatan objek dilakukan secara acak namun tetap memperhatikan komposisi lingkungan agar tidak terlihat berlebihan. Selain itu, batuan dan elemen dekoratif lainnya digunakan untuk memberikan detail tambahan pada terrain sehingga lingkungan virtual terlihat lebih realistis. Jalur eksplorasi juga ditambahkan sebagai penunjuk arah navigasi pengguna. Jalur ini membantu pengguna menjelajahi lingkungan virtual tanpa mengalami kesulitan dalam menentukan arah eksplorasi. Selain meningkatkan kenyamanan pengguna, keberadaan jalur eksplorasi juga membantu menciptakan struktur lingkungan yang lebih terorganisir. Untuk memperkuat karakteristik lingkungan pegunungan, dilakukan penambahan berbagai objek pendukung seperti vegetasi, batuan, dan elemen dekoratif lainnya. Hasil implementasi objek lingkungan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Implementasi Objek Lingkungan pada Virtual World

Berdasarkan Gambar 5, penambahan objek lingkungan mampu meningkatkan tingkat realisme dan estetika lingkungan virtual. Kehadiran vegetasi, batuan, dan elemen pendukung lainnya membuat lingkungan virtual terlihat lebih hidup dibandingkan terrain tanpa objek tambahan. Selain berfungsi sebagai elemen visual, objek-objek tersebut juga membantu pengguna dalam mengenali area eksplorasi dan meningkatkan pengalaman interaktif selama menjelajahi lingkungan virtual.

3.4 Implementasi Interaksi Pengguna

Interaksi pengguna pada penelitian ini diterapkan menggunakan scripting Lua pada Roblox Studio. Implementasi interaksi dilakukan agar pengguna dapat melakukan eksplorasi lingkungan virtual secara aktif dan interaktif. Interaksi utama yang diterapkan meliputi navigasi karakter pengguna, perpindahan area eksplorasi, dan interaksi sederhana dengan objek lingkungan. Pengguna dapat berjalan menyusuri jalur pegunungan, menaiki lereng, serta menjelajahi berbagai area lingkungan virtual yang telah dibuat.

Sistem navigasi dirancang agar mudah digunakan oleh pengguna umum tanpa memerlukan pelatihan khusus. Penggunaan kontrol dasar Roblox memungkinkan pengguna langsung memahami mekanisme eksplorasi lingkungan virtual. Selain navigasi, beberapa objek lingkungan juga diberikan interaksi sederhana untuk meningkatkan keterlibatan pengguna selama eksplorasi. Interaksi ini membantu menciptakan pengalaman virtual yang lebih dinamis dan tidak monoton. Selain aspek visual, penelitian ini juga mengimplementasikan mekanisme interaksi pengguna untuk mendukung aktivitas eksplorasi lingkungan virtual. Tampilan implementasi interaksi pengguna dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Implementasi Interaksi Pengguna pada Virtual World

Berdasarkan Gambar 6, sistem interaksi yang diterapkan memungkinkan pengguna melakukan navigasi dan eksplorasi lingkungan virtual secara aktif. Pengguna dapat berinteraksi dengan NPC, menjelajahi berbagai area pegunungan, serta berinteraksi dengan lingkungan yang tersedia. Implementasi interaksi ini meningkatkan keterlibatan pengguna dan mendukung terciptanya pengalaman eksplorasi yang lebih dinamis.

3.5 Pengujian dan Evaluasi Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat kualitas dan kelayakan virtual world yang telah dikembangkan. Evaluasi dilakukan menggunakan metode deskriptif kuantitatif melalui penyebaran kuesioner kepada responden.

Instrumen evaluasi menggunakan skala Likert dengan rentang nilai 1 sampai 5. Aspek yang dinilai meliputi kualitas visual lingkungan, desain terrain, pencahayaan dan atmosfer, kenyamanan navigasi, serta pengalaman eksplorasi pengguna secara keseluruhan. Untuk mengukur persepsi responden terhadap world virtual yang dikembangkan, penelitian ini menggunakan skala Likert dengan rentang nilai 1 sampai 5. Skala tersebut digunakan untuk mengubah pendapat responden menjadi data kuantitatif yang dapat dianalisis. Kriteria penilaian yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Skala penilaian kuesioner

Skor	Kategori
1	Sangat tidak setuju
2	Tidak setuju
3	Cukup
4	Setuju
5	Sangat setuju

Berdasarkan Tabel 5, nilai tertinggi diberikan pada kategori Sangat Setuju dengan skor 5, sedangkan nilai terendah diberikan pada kategori Sangat Tidak Setuju dengan skor 1. Penggunaan skala Likert memungkinkan proses evaluasi dilakukan secara sistematis dan memudahkan pengukuran tingkat penerimaan pengguna terhadap world virtual yang dikembangkan. Jumlah pertanyaan yang digunakan dalam kuesioner sebanyak 15 pertanyaan yang mencakup aspek visual, *terrain*, pencahayaan, tata letak lingkungan, dan kelayakan *virtual world*. Jumlah responden yang berpartisipasi dalam penelitian ini sebanyak 67 responden. Untuk memperoleh data evaluasi pengguna, disusun sejumlah pertanyaan yang mencakup aspek visual, navigasi, kenyamanan, dan kesesuaian konsep lingkungan virtual. Daftar pertanyaan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Daftar Pertanyaan Kuesioner

No	Pertanyaan /Indikator
1.	Tampilan lingkungan pegunungan terlihat menarik secara visual.
2.	Detail terrain (bukit, lereng, dan lembah) terlihat realistis.



No	Pertanyaan /Indikator
3.	Kombinasi warna pada lingkungan terlihat harmonis.
4.	Objek pendukung seperti pohon dan batu memperkuat suasana pegunungan.
5.	Secara keseluruhan desain visual world virtual terlihat baik.
6.	Pengaturan pencahayaan mendukung suasana lingkungan pegunungan.
7.	Efek atmosfer (langit/kabut) menambah kesan realistis.
8.	Intensitas cahaya tidak mengganggu kenyamanan visual.
9.	Bayangan dan pencahayaan terlihat natural.
10.	Tata letak lingkungan terasa terstruktur dan tidak membingungkan.
11.	Perbedaan ketinggian terrain terlihat jelas.
12.	World virtual sudah sesuai dengan konsep lingkungan pegunungan.
13.	Implementasi terrain menunjukkan karakteristik wilayah pegunungan.
14.	World virtual ini layak digunakan sebagai media eksplorasi digital.
15.	Secara keseluruhan world virtual yang dikembangkan sudah baik.

Berdasarkan Tabel 6, seluruh pertanyaan dirancang untuk mengukur pengalaman pengguna selama berinteraksi dengan virtual world. Pertanyaan-pertanyaan tersebut mencakup aspek kualitas visual, kemudahan navigasi, tingkat realisme lingkungan, serta kenyamanan pengguna dalam melakukan eksplorasi. Dengan demikian, hasil kuesioner dapat memberikan gambaran mengenai kualitas yang telah dikembangkan. Hasil Perhitungan Skor Kuesioner:

Jumlah Responden = 67

Jumlah Pertanyaan = 15

Skor Maksimal = 5025

Skor Aktual = 4014

Perhitungan skor dilakukan menggunakan Persamaan (1) yang telah dijelaskan pada bagian metodologi penelitian. Sehingga diperoleh:

$$\text{Persentase} = \frac{4014}{5025} \times 100\% = 79.88\%$$

Untuk mengetahui tingkat kelayakan world virtual secara keseluruhan, dilakukan perhitungan skor berdasarkan hasil kuesioner yang telah diperoleh dari responden. Rekapitulasi hasil perhitungan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Interpretasi Hasil

Persentase	Kategori
81% – 100%	Sangat Baik
61% – 80%	Baik
41% – 60%	Cukup

Berdasarkan Tabel 7, diperoleh nilai kelayakan sebesar 79,88% yang termasuk dalam kategori baik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa world virtual yang dikembangkan mampu memberikan pengalaman eksplorasi yang positif bagi pengguna. Nilai ini juga mengindikasikan bahwa kombinasi terrain modeling, objek lingkungan, pencahayaan, dan interaksi pengguna telah berhasil memenuhi tujuan penelitian. Hasil rata-rata penilaian untuk setiap indikator disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rata-Rata Penilaian Setiap Indikator

No	Indikator	Rata-rata
1	Tampilan lingkungan pegunungan menarik	3.91
2	Detail terrain realistis	4.04
3	Kombinasi warna harmonis	3.98
4	Objek pohon dan batu mendukung suasana	4.00
5	Desain visual world virtual baik	3.95
6	Pencahayaan mendukung suasana	3.95
7	Efek atmosfer realistis	4.04
8	Intensitas cahaya nyaman	4.04
9	Bayangan terlihat natural	4.04
10	Tata letak lingkungan terstruktur	3.83
11	Perbedaan ketinggian terrain jelas	4.01
12	Sesuai konsep pegunungan	4.15
13	Implementasi terrain baik	3.95
14	Layak sebagai media eksplorasi	3.92
15	Penilaian keseluruhan world virtual	4.04



Berdasarkan Tabel 8, sebagian besar indikator memperoleh nilai rata-rata di atas 3,8 yang menunjukkan bahwa responden memberikan penilaian positif. Indikator dengan nilai tertinggi adalah kesesuaian konsep lingkungan pegunungan dengan skor rata-rata 4,15, sedangkan indikator dengan nilai terendah adalah tata letak lingkungan dengan skor rata-rata 3,83. Meskipun demikian, seluruh indikator masih berada dalam kategori baik sehingga menunjukkan bahwa lingkungan virtual dapat diterima dengan baik oleh pengguna.

3.6 Pembahasan

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa virtual world yang dikembangkan memperoleh tingkat kelayakan sebesar 79,88% yang termasuk kategori baik. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kombinasi terrain modeling, pencahayaan, atmosfer, dan objek lingkungan mampu menghasilkan pengalaman eksplorasi yang diterima secara positif oleh pengguna. Temuan ini sejalan dengan penelitian Han et al. [2] yang menyatakan bahwa Roblox mampu menyediakan lingkungan virtual yang mendukung keterlibatan pengguna melalui pengalaman interaktif. Hasil penelitian ini juga mendukung temuan Cho dan Park [3] yang menunjukkan bahwa kualitas visual lingkungan virtual berpengaruh terhadap persepsi dan pengalaman pengguna selama berada dalam lingkungan virtual.

Selain itu, indikator tertinggi diperoleh pada aspek kesesuaian konsep lingkungan pegunungan dengan nilai 4,15. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses terrain modeling dan pengaturan visual berhasil menciptakan representasi lingkungan pegunungan yang sesuai dengan tujuan penelitian. Sebaliknya, indikator tata letak lingkungan memperoleh nilai terendah yaitu 3,83, yang menunjukkan perlunya pengembangan lebih lanjut pada aspek struktur navigasi dan penataan area eksplorasi. Dibandingkan penelitian sebelumnya yang umumnya berfokus pada pemanfaatan Roblox sebagai media pembelajaran atau simulasi, penelitian ini memberikan kontribusi pada aspek pengembangan terrain modeling dan evaluasi pengalaman pengguna dalam lingkungan virtual bertema pegunungan. Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa Roblox Studio dapat dimanfaatkan tidak hanya sebagai platform permainan, tetapi juga sebagai media pengembangan lingkungan virtual yang mendukung eksplorasi digital dan simulasi interaktif. Setelah seluruh proses pengembangan selesai dilakukan, diperoleh sebuah *virtual world* bertema lingkungan pegunungan yang mengintegrasikan terrain, pencahayaan, atmosfer, objek lingkungan, dan interaksi pengguna. Tampilan keseluruhan virtual world yang dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan Keseluruhan virtual world

Berdasarkan Gambar 7, virtual world yang dikembangkan berhasil mengintegrasikan berbagai komponen lingkungan menjadi satu kesatuan yang mendukung aktivitas eksplorasi digital. Kombinasi terrain pegunungan, objek lingkungan, pencahayaan, dan atmosfer menghasilkan lingkungan virtual yang memiliki kualitas visual yang baik dan sesuai dengan konsep penelitian. Hasil ini didukung oleh evaluasi pengguna yang memperoleh nilai kelayakan sebesar 79,88%, yang menunjukkan bahwa lingkungan virtual diterima dengan baik oleh responden. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa Roblox Studio tidak hanya dapat digunakan sebagai platform pengembangan permainan, tetapi juga memiliki potensi besar dalam pengembangan lingkungan virtual interaktif yang dapat dimanfaatkan untuk simulasi, eksplorasi digital, maupun media pembelajaran berbasis metaverse.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan mengevaluasi virtual world bertema lingkungan pegunungan menggunakan metode Research and Development (R&D). Virtual world yang dihasilkan mengintegrasikan terrain modeling, objek lingkungan, pencahayaan, atmosfer, dan interaksi pengguna sehingga mampu merepresentasikan karakteristik lingkungan pegunungan secara visual dan interaktif. Hasil evaluasi terhadap 67 responden menunjukkan tingkat kelayakan sebesar 79,88% yang termasuk dalam kategori baik, dengan indikator tertinggi pada kesesuaian konsep lingkungan pegunungan dan indikator terendah pada tata letak lingkungan. Kontribusi penelitian ini terletak pada penyediaan tahapan



pengembangan virtual world lingkungan pegunungan yang sistematis melalui implementasi terrain modeling, pengaturan pencahayaan dan atmosfer, serta evaluasi pengalaman pengguna sebagai dasar pengukuran kualitas lingkungan virtual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan yang digunakan mampu menghasilkan lingkungan virtual yang realistis, interaktif, dan dapat diterima dengan baik oleh pengguna sehingga berpotensi diterapkan pada simulasi, eksplorasi digital, dan media pembelajaran berbasis metaverse. Penelitian ini masih memiliki keterbatasan pada aspek pengujian performa sistem yang belum mencakup berbagai spesifikasi perangkat serta belum dilakukan pengukuran parameter teknis seperti frame rate dan render distance. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada optimasi performa visual, pengujian pada berbagai perangkat, serta penyempurnaan struktur navigasi dan fitur interaktif guna meningkatkan kualitas pengalaman pengguna.

REFERENCES

- [1] Y. K. Dwivedi *et al.*, "Metaverse beyond the hype: Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy," *Int. J. Inf. Manage.*, vol. 66, no. July, p. 102542, 2022, doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2022.102542.
- [2] J. Han, G. Liu, and Y. Gao, "Learners in the Metaverse: A Systematic Review on the Use of Roblox in Learning," *Educ. Sci.*, vol. 13, no. 3, 2023, doi: 10.3390/educsci13030296.
- [3] Y. Cho and K. S. Park, "Designing Immersive Virtual Reality Simulation for Environmental Science Education," *Electronics*, vol. 12, no. 2, p. 315, Jan. 2023, doi: 10.3390/electronics12020315.
- [4] B. Kye, N. Han, E. Kim, Y. Park, and S. Jo, "Educational applications of metaverse: Possibilities and limitations," *J. Educ. Eval. Health Prof.*, vol. 18, pp. 1–13, 2021, doi: 10.3352/jeehp.2021.18.32.
- [5] Rian Farta Wijaya, Viridya Tasril, Ranti Eka Putri, Dian Nabila Putri, and Muhammad Rifai Sipayung, "Virtual Tourism in Berastagi Based on Roblox Metaverse Post-Covid-19 Pandemic," *Int. J. Comput. Sci. Math. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 200–207, 2023, doi: 10.61306/ijecom.v2i2.42.
- [6] M. Malik Fajri, Said Iskandar Al Idrus, Yulita Molliq Rangkuti, Kana Saputra S, and Debi Yandra Niska, "3D Application Development with Blender and Roblox Integration: A Case Study of the North Sumatera State Museum," *J. Artif. Intell. Eng. Appl.*, vol. 4, no. 2, pp. 783–789, 2025, doi: 10.59934/jaiea.v4i2.752.
- [7] G. Makransky, N. K. Andreassen, S. Baceviciute, and R. E. Mayer, "Immersive virtual reality increases liking but not learning with a science simulation and generative learning strategies promote learning in immersive virtual reality.," *J. Educ. Psychol.*, vol. 113, no. 4, pp. 719–735, 2021, doi: 10.1037/edu0000473.
- [8] A. Wesemann, "Metaverse," *Tanz*, vol. 2, no. 1, pp. 52–55, 2022, doi: 10.2307/jj.28799942.7.
- [9] Okpatrioka, "Research And Development (R&D) Penelitian Yang Inovatif Dalam Pendidikan," *Dharma Acariya Nusant. J. Pendidikan, Bhs. dan Budaya*, vol. 1, no. 1, pp. 86–100, Mar. 2023, doi: 10.47861/jdan.v1i1.154.
- [10] D. Santy, "Exploring the Educational Potential of VR: Immersive vs. Non-Immersive VR in Virtual Space Learning," *J. Artif. Intell. Archit.*, vol. 4, no. 1, pp. 14–22, 2025, doi: 10.24002/jarina.v4i1.9333.
- [11] A. Halbig and M. E. Latoschik, "The interwoven nature of spatial presence and virtual embodiment: a comprehensive perspective," *Front. Virtual Real.*, vol. 6, no. July, pp. 1–17, 2025, doi: 10.3389/frvir.2025.1616662.
- [12] R. Damaševičius and T. Sidekerskienė, "Virtual Worlds for Learning in Metaverse: A Narrative Review," *Sustain.*, vol. 16, no. 5, pp. 1–41, 2024, doi: 10.3390/su16052032.
- [13] A. Nguyen *et al.*, "Conceptualizing and enhancing metaverse literacy for education," *Educ. Inf. Technol.*, vol. 30, no. 12, pp. 17133–17153, 2025, doi: 10.1007/s10639-025-13486-9.
- [14] Y. S. Chang, Y. Y. Wang, and H. J. Tsai, "The Metaverse in Green Building Concept Learning, Creative Design Performance, and Learning Engagement," *Sustain.*, vol. 16, no. 14, 2024, doi: 10.3390/su16146264.
- [15] G. Byeon and S. Yu, "Roblox Graffiti Art Using Virtual Reality Devices: Reality and Spatial Presence in a Virtual Space," *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 24, 2023, doi: 10.3390/app132413038.
- [16] D. M. D. Jose Luis Saorin, Clara Carbonell Carrera, Alexander J. Jaeger, "Landscape Design Outdoor-Indoor VR Invironments User Experience," *Encycl. Comput. Graph. Games*, vol. 12, no. 2, pp. 1952–1952, 2023, doi: 10.1007/978-3-031-23161-2_301206.
- [17] M. F. A. Romadhan, K. R. Pratama, M. S. Anam, M. A. Sholikhin, and T. W. Hermawan, "Penerapan Model Project-Based Learning (PjBl) dalam Pengembangan Modul Pembelajaran Pembuatan Game Obby Berbasis Roblox Studio untuk Siswa Sekolah Dasar," *J. Media Akad.*, vol. 3, no. 12, 2025, doi: 10.62281.
- [18] C. D. Craig and R. Kay, "A Systematic Overview of Reviews of the Use of Immersive Virtual Reality in Higher Education," *High. Learn. Res. Commun.*, vol. 13, no. 2, pp. 42–60, 2023, doi: 10.18870/hlrc.v13i2.1430.
- [19] S. Ronft, A. K. Beck, and T. Lachmann, "Human-centric virtual lighting: Effects of color temperature and daylight simulation in virtual environments," *Appl. Ergon.*, vol. 129, no. February, p. 104601, 2025, doi: 10.1016/j.apergo.2025.104601.
- [20] R. H. Alinata and M. Marsudi, "Pemanfaatan Roblox sebagai Media Promosi Sekolah Metaverse SMP Negeri 3 Sumenep," *MALCOM Indones. J. Mach. Learn. Comput. Sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 57–70, Dec. 2023, doi: 10.57152/malcom.v4i1.1011.