

Perancangan Terrain Modeling Environment Menggunakan Height Maps Dan Displacement Dalam Scene 3D

Terrain Modeling Environment Design Using Height Maps and Displacement in a 3D Scene

Bernadhed¹, Michael Hizkia Nainggolan²

^{1,2}Teknologi Informasi Universitas Amikom Yogyakarta

E-mail: *¹ bernadtagger@amikom.ac.id, ²michael.hizkia@student.amikom.ac.id

Abstract – This study aims to design a 3D terrain modeling environment in the “Silent Mountain” scene using height maps and displacement mapping techniques to enhance visual realism. The main challenge in large-scale terrain modeling lies in the high computational cost caused by manual sculpting methods. The proposed method integrates 32-bit height map data into Blender using displacement and adaptive subdivision techniques. The workflow includes pre-production, production, post-production, and evaluation using a Likert scale. The results indicate that displacement mapping produces more realistic geometry while maintaining computational efficiency compared to manual methods. Adaptive subdivision further optimizes polygon usage dynamically. The evaluation result reached 82%, categorized as very good. This study contributes an effective workflow for developing 3D environments based on elevation data.

Keywords — Terrain Modeling, Height Maps, Displacement, Blender, 3D Environment

Abstrak – Penelitian ini bertujuan merancang *terrain modeling environment* pada scene 3D “Silent Mountain” menggunakan teknik *height maps* dan *displacement mapping* untuk meningkatkan realisme visual. Permasalahan utama dalam pemodelan terrain berskala besar adalah tingginya beban komputasi akibat metode manual sculpting yang menghasilkan jumlah poligon sangat tinggi dan tidak efisien. Metode penelitian dilakukan dengan mengintegrasikan *data height map 32-bit* ke dalam perangkat lunak Blender menggunakan teknik *displacement* dan *adaptive subdivision*. Tahapan penelitian meliputi pra-produksi, produksi, dan pasca-produksi, serta evaluasi menggunakan skala *Likert* oleh ahli. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknik *displacement* mampu menghasilkan detail geometri yang lebih realistis serta efisien dalam penggunaan sumber daya dibandingkan metode manual. Penggunaan *adaptive subdivision* juga terbukti mampu mengoptimalkan jumlah poligon secara dinamis sesuai kebutuhan visual. Berdasarkan hasil evaluasi, diperoleh nilai sebesar 82% yang termasuk kategori sangat baik. Penelitian ini memberikan kontribusi berupa *workflow* efektif dalam pengembangan *environment 3D* berbasis data elevasi.

Kata Kunci — Terrain Modeling, Height Maps, Displacement, Blender, 3D Environment

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *Computer-Generated Imagery* (CGI) telah mendorong peningkatan kualitas visual dalam berbagai bidang seperti animasi, game, dan simulasi digital [10]. Salah satu komponen penting dalam pengembangan lingkungan virtual adalah *terrain modeling*, yaitu proses pembentukan representasi permukaan bumi dalam ruang tiga dimensi [1], [2]. Kualitas pemodelan *terrain* memiliki peran penting dalam membangun lingkungan *virtual* yang realistis dan

mampu memberikan pengalaman visual yang lebih imersif. Seiring meningkatnya kebutuhan terhadap lingkungan digital yang kompleks, diperlukan metode pemodelan yang mampu menghasilkan detail permukaan secara optimal dengan tetap mempertimbangkan efisiensi proses komputasi.

Dalam praktiknya, pembuatan *terrain* berskala besar menghadapi berbagai tantangan, terutama terkait kompleksitas geometri yang tinggi. Metode manual *sculpting* sering digunakan karena fleksibilitasnya, namun metode ini memiliki kelemahan berupa waktu pengerjaan yang lama [11]. Hal ini berdampak langsung pada performa *rendering* yang menjadi lebih berat. Semakin detail permukaan yang dibutuhkan, semakin banyak pula jumlah *polygon* dan *vertex* yang harus diproses oleh sistem. Kondisi tersebut dapat meningkatkan penggunaan memori dan beban komputasi, sehingga diperlukan pendekatan yang mampu mempertahankan kualitas visual sekaligus mengendalikan kompleksitas geometri.

Sebagai solusi, *displacement mapping* dengan memanfaatkan *height maps* menjadi pendekatan yang lebih efisien [5], [7]. *Height maps* merupakan representasi data elevasi dalam bentuk citra *grayscale* yang dapat diterjemahkan menjadi bentuk permukaan tiga dimensi [4]. Dengan pendekatan ini, detail permukaan dapat dihasilkan secara otomatis tanpa perlu pemodelan manual secara menyeluruh. Selain itu, penggunaan *height maps* memungkinkan proses pembentukan *terrain* dilakukan secara lebih fleksibel dengan menyesuaikan tingkat detail dan karakteristik permukaan yang diinginkan. Pendekatan tersebut juga dapat mengurangi waktu dan kompleksitas dalam proses perancangan lingkungan 3D, terutama pada *terrain* yang memiliki bentuk permukaan yang kompleks dan bervariasi.

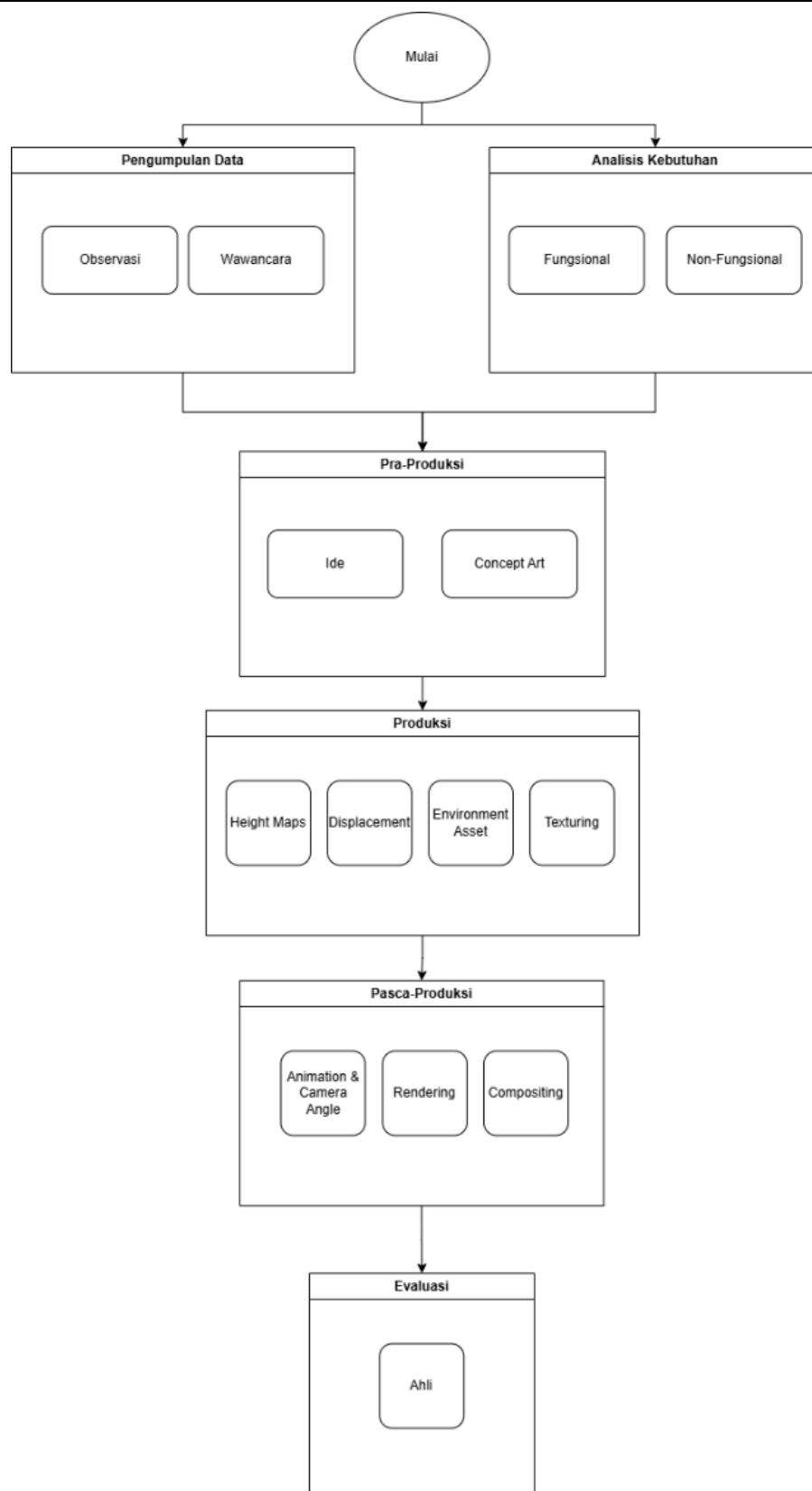
Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa teknik *displacement mapping* mampu meningkatkan kualitas visual *terrain* secara signifikan [5], [6]. Selain itu, penggunaan *procedural texturing* memungkinkan fleksibilitas dalam pemberian detail permukaan [8], [12]. Dalam konteks *rendering* modern, optimalisasi performa melalui pengelolaan subdivisi mesh dan memori menjadi faktor penting [2], [9].

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan teknik *displacement mapping* berbasis *height maps* dengan dukungan *adaptive subdivision* guna menghasilkan *terrain 3D* yang realistis sekaligus efisien. Pendekatan ini diharapkan mampu meningkatkan kualitas visual permukaan *terrain* tanpa menghasilkan kompleksitas geometri yang berlebihan. Selain itu, penerapan *adaptive subdivision* diharapkan dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya komputasi sehingga proses *rendering* dapat berjalan secara lebih efisien.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan utama, yaitu perancangan konsep, implementasi sistem, dan evaluasi hasil. Setiap tahapan dilakukan secara berurutan untuk memastikan proses pengembangan *terrain 3D* berjalan sesuai dengan tujuan penelitian. Tahapan penelitian dimulai dari perancangan *height maps* dan model dasar *terrain*, dilanjutkan dengan penerapan *displacement mapping* dan *adaptive subdivision*, kemudian diakhiri dengan pengujian kualitas visual serta efisiensi *rendering*.



Gambar 1 Alur Penelitian

2.2 Pra-Produksi

Tahap pra-produksi meliputi perancangan konsep *visual environment* serta pengumpulan referensi terkait *terrain modeling*. Referensi yang digunakan mencakup teori dasar grafika komputer serta teknik pemodelan *3D modern* [10]. Pada tahap ini ditentukan karakteristik *terrain* yang akan dikembangkan, termasuk bentuk permukaan, tingkat detail, serta konsep lingkungan yang akan divisualisasikan. Perancangan konsep tersebut menjadi acuan dalam menentukan jenis *height maps*, struktur geometri, teknik *texturing*, dan konfigurasi *rendering* yang digunakan pada tahap produksi.

Selain itu, dilakukan analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak untuk memastikan proses produksi dapat berjalan dengan optimal. Analisis ini mencakup kemampuan perangkat dalam menangani proses *subdivision*, *displacement*, pemrosesan tekstur beresolusi tinggi, serta *rendering* menggunakan *engine Cycles*. Tahap ini dilakukan untuk meminimalkan kendala teknis dan memastikan konfigurasi sistem mampu mendukung proses pemodelan hingga evaluasi hasil akhir.

2.3 Produksi

Pada tahap produksi, pembuatan *terrain* dimulai dengan objek dasar berupa *plane* yang dimodifikasi menggunakan teknik *subdivision* untuk meningkatkan jumlah geometri awal. *Subdivision* ini penting agar mesh memiliki cukup detail untuk menerima deformasi dari *displacement mapping*. Jumlah subdivisi disesuaikan dengan kebutuhan detail permukaan sehingga *mesh* tidak memiliki geometri yang terlalu rendah maupun berlebihan. Pengaturan tersebut menjadi bagian penting dalam menjaga keseimbangan antara ketelitian bentuk *terrain* dan efisiensi pemrosesan.

Selanjutnya diterapkan teknik *displacement mapping* menggunakan *height maps* [5]. *Height map* yang digunakan memiliki *bit depth 32-bit* sehingga mampu menghasilkan gradasi permukaan yang lebih halus dibandingkan format yang lebih rendah. Nilai intensitas pada *height map* digunakan sebagai informasi ketinggian yang menentukan besar kecilnya deformasi pada setiap bagian permukaan *mesh*. Dengan demikian, variasi warna pada citra *height map* dapat diterjemahkan menjadi variasi elevasi yang membentuk kontur *terrain* secara lebih alami.



Gambar 2 *Render View*

Parameter seperti *strength* dan *midlevel* digunakan untuk mengontrol intensitas deformasi permukaan. Proses ini dilakukan secara iteratif hingga diperoleh bentuk *terrain* yang sesuai dengan konsep visual. Pengujian terhadap kedua parameter tersebut dilakukan untuk memperoleh kedalaman dan karakteristik permukaan yang proporsional tanpa menghasilkan deformasi yang terlalu ekstrem. Hasil setiap perubahan parameter diamati melalui *render view* untuk menentukan konfigurasi yang menghasilkan bentuk permukaan paling sesuai.

Selain itu, digunakan teknik *adaptive subdivision* untuk meningkatkan detail secara dinamis berdasarkan jarak kamera [6]. Teknik ini memungkinkan optimalisasi jumlah poligon sehingga hanya area tertentu yang memiliki detail tinggi. Area *terrain* yang berada lebih dekat dengan kamera diberikan tingkat subdivisi yang lebih tinggi, sedangkan area yang berada lebih jauh

menggunakan tingkat detail yang lebih rendah. Pendekatan ini bertujuan mengurangi jumlah geometri yang harus diproses tanpa memberikan dampak visual yang signifikan terhadap kualitas gambar akhir.

Implementasi dilakukan menggunakan perangkat lunak *Blender* sebagai *platform* utama dalam proses pemodelan dan *rendering* [14]. *Blender* digunakan karena menyediakan fitur *displacement*, *subdivision*, material berbasis PBR, serta *rendering* yang mendukung kebutuhan penelitian. Seluruh proses pemodelan, pengaturan material, konfigurasi kamera dan pencahayaan, hingga proses *rendering* dilakukan dalam lingkungan kerja yang sama untuk menjaga konsistensi hasil pengujian.

2.4 Pasca-Produksi

Tahap pasca-produksi mencakup proses *rendering* menggunakan *engine Cycles* dengan pendekatan *Physically Based Rendering* (PBR) [3]. Teknik ini memungkinkan interaksi cahaya yang lebih realistis pada permukaan objek. Pada tahap ini dilakukan pengaturan kamera, pencahayaan, material, dan parameter *rendering* untuk menghasilkan visualisasi *terrain* yang mendekati kondisi lingkungan nyata. Konfigurasi *rendering* juga diperhatikan agar kualitas visual yang diperoleh tetap seimbang dengan waktu dan sumber daya komputasi yang digunakan.

Selain itu, dilakukan proses *compositing* untuk meningkatkan kualitas visual akhir, seperti penyesuaian warna dan penambahan efek atmosfer [13]. Proses ini dilakukan setelah *rendering* utama selesai sehingga perubahan visual dapat diterapkan tanpa mengubah struktur geometri *terrain*. Hasil akhir kemudian digunakan sebagai bahan evaluasi untuk menilai kualitas visual dan tingkat realisme *terrain* yang telah dikembangkan.

2.5 Evaluasi

Evaluasi dilakukan menggunakan metode skala *Likert* untuk menilai kualitas *visual terrain* berdasarkan persepsi ahli [15]. Aspek yang dinilai meliputi realisme bentuk, kualitas pencahayaan, dan detail permukaan. Penilaian dilakukan terhadap hasil *rendering* akhir untuk mengetahui sejauh mana teknik *displacement mapping* dan *adaptive subdivision* mampu menghasilkan visualisasi *terrain* yang realistis. Data hasil penilaian selanjutnya dianalisis untuk memperoleh gambaran tingkat penerimaan terhadap kualitas visual yang dihasilkan.

Selain aspek visual, evaluasi juga mempertimbangkan efisiensi penggunaan geometri dalam proses *rendering*. Hasil evaluasi tersebut digunakan sebagai dasar untuk mengetahui efektivitas pendekatan yang diterapkan serta mengidentifikasi bagian yang masih dapat dioptimalkan pada pengembangan *terrain 3D* selanjutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Terrain Modeling

Hasil implementasi menunjukkan bahwa penggunaan *height maps* mampu menghasilkan *terrain* dengan detail permukaan yang halus dan realistis. Kontur *terrain* dapat direpresentasikan dengan baik sesuai dengan data elevasi. Variasi nilai *grayscale* pada *height map* menghasilkan perbedaan ketinggian pada permukaan mesh sehingga terbentuk kontur yang menyerupai karakteristik permukaan *terrain* sebenarnya. Hasil tersebut menunjukkan bahwa teknik *displacement mapping* dapat digunakan untuk membentuk permukaan yang kompleks tanpa harus melakukan pemodelan geometri secara manual pada setiap bagian *terrain*. Kualitas hasil juga dipengaruhi oleh resolusi dan kedalaman *bit height map* yang digunakan. Penggunaan *height map 32-bit* memberikan gradasi nilai elevasi yang lebih halus sehingga transisi antarpermukaan tidak terlihat terlalu kasar atau mengalami perubahan ketinggian secara tiba-tiba.

3.2 Hasil Render



Gambar 3 Hasil Render

Hasil render menunjukkan kualitas visual yang tinggi dengan pencahayaan yang natural. Permukaan *terrain* mampu menampilkan variasi kontur, bayangan, dan perbedaan intensitas cahaya yang memberikan kesan kedalaman pada lingkungan 3D. Penggunaan material berbasis *Physically Based Rendering* (PBR) juga membantu menghasilkan respons cahaya yang lebih realistis pada permukaan *terrain*.

Hasil visual tersebut menunjukkan bahwa kombinasi antara *displacement mapping*, material PBR, pencahayaan, dan konfigurasi kamera mampu menghasilkan lingkungan *terrain* yang lebih realistis. Detail permukaan tetap dapat terlihat dengan jelas pada area yang mendapatkan pencahayaan langsung maupun pada area yang berada dalam bayangan.

3.3 Analisis Teknik

Displacement mapping memberikan perubahan geometri secara nyata berdasarkan nilai piksel pada *height map*. Hal ini berbeda dengan teknik *bump mapping* yang hanya memberikan ilusi visual tanpa mengubah geometri. Perubahan geometri tersebut memungkinkan bentuk permukaan tetap terlihat memiliki kedalaman ketika diamati dari berbagai sudut pandang, termasuk ketika terdapat perubahan posisi kamera dan arah pencahayaan. Dengan demikian, *displacement mapping* lebih sesuai digunakan untuk membentuk perubahan elevasi yang membutuhkan representasi geometri secara nyata.

Namun, perubahan geometri secara langsung menyebabkan kebutuhan terhadap jumlah polygon yang lebih tinggi dibandingkan teknik yang hanya memanipulasi normal permukaan. Oleh karena itu, penerapan *adaptive subdivision* menjadi bagian penting untuk menjaga keseimbangan antara kualitas detail dan efisiensi pemrosesan.

3.4 Optimalisasi

Penggunaan *adaptive subdivision* terbukti mampu meningkatkan efisiensi dengan cara mengurangi jumlah poligon pada area yang tidak memerlukan detail tinggi. Subdivisi secara dinamis memungkinkan tingkat detail disesuaikan berdasarkan kebutuhan visual dan posisi objek terhadap kamera. Area yang berada dekat dengan kamera memperoleh detail geometri yang lebih tinggi, sedangkan area yang jauh dari kamera tidak memerlukan tingkat subdivisi yang sama.

Pendekatan tersebut dapat mengurangi beban pemrosesan karena sistem tidak perlu memberikan tingkat detail maksimum pada seluruh permukaan *terrain*. Dengan demikian, *adaptive subdivision* mendukung tujuan penelitian dalam menghasilkan *terrain* yang memiliki kualitas visual tinggi sekaligus mempertahankan efisiensi penggunaan sumber daya komputasi.

3.5 Analisis Visual

Penerapan PBR memungkinkan interaksi cahaya yang lebih realistis sehingga menghasilkan bayangan dan refleksi yang mendekati kondisi nyata. Hal ini meningkatkan kualitas visual secara keseluruhan. Selain itu, detail *terrain* tetap konsisten meskipun dilihat dari berbagai sudut pandang, yang menunjukkan keunggulan teknik *displacement* dalam mempertahankan struktur

geometri.

Konsistensi tersebut menunjukkan bahwa detail yang dihasilkan tidak hanya bergantung pada efek pencahayaan, tetapi juga berasal dari perubahan bentuk geometri secara aktual. Permukaan terrain dapat mempertahankan karakteristik kontur ketika sudut pandang kamera berubah sehingga memberikan kesan tiga dimensi yang lebih kuat dibandingkan metode yang hanya menghasilkan efek visual pada permukaan.

3.6 Perbandingan Metode

Dibandingkan dengan metode manual *sculpting*, *displacement mapping* lebih efisien dalam waktu pengerjaan dan menghasilkan bentuk yang lebih konsisten. Namun, kualitas hasil sangat bergantung pada resolusi *height map* yang digunakan. Metode *displacement mapping* juga memberikan keuntungan dalam proses modifikasi karena perubahan bentuk terrain dapat dilakukan dengan mengganti atau memodifikasi *height map* tanpa harus melakukan pemodelan ulang seluruh geometri. Hal ini membuat metode tersebut lebih fleksibel untuk digunakan pada pengembangan lingkungan 3D yang membutuhkan variasi bentuk *terrain*.

Di sisi lain, metode manual *sculpting* masih memiliki keunggulan dalam memberikan kontrol artistik secara langsung terhadap detail tertentu. Oleh karena itu, *displacement mapping* lebih tepat digunakan sebagai pendekatan utama untuk membentuk struktur elevasi, sedangkan *sculpting* dapat digunakan sebagai metode tambahan apabila diperlukan penyesuaian detail secara manual.

3.7 Evaluasi

Hasil evaluasi menunjukkan nilai sebesar 82% yang termasuk kategori sangat baik. Nilai tersebut menunjukkan bahwa secara umum hasil *terrain* yang dikembangkan telah memenuhi aspek visual yang ditetapkan dalam penelitian, terutama dari sisi realisme bentuk, kualitas pencahayaan, dan detail permukaan. Hasil ini juga menunjukkan bahwa kombinasi *height maps*, *displacement mapping*, *adaptive subdivision*, dan PBR mampu menghasilkan lingkungan *terrain 3D* dengan kualitas visual yang baik.

Meskipun demikian, nilai evaluasi yang belum mencapai 100% menunjukkan masih terdapat ruang untuk pengembangan lebih lanjut. Peningkatan kualitas *height map*, pengaturan parameter *displacement*, optimasi subdivisi, serta penyempurnaan material dan pencahayaan dapat menjadi bagian yang dikembangkan pada penelitian selanjutnya.

4. KESIMPULAN

Teknik *height maps* dan *displacement mapping* terbukti mampu menghasilkan *terrain 3D* yang realistis dengan efisiensi komputasi yang lebih baik dibandingkan metode manual. Penggunaan *adaptive subdivision* mendukung optimalisasi performa sistem sehingga metode ini layak digunakan dalam pengembangan environment digital. Implementasi *height map* dengan kedalaman 32-bit berhasil mengeliminasi banding *artifacts*, sementara penggunaan efek *fog* dinilai sudah tepat dan sesuai dalam membangun persepsi kedalaman atmosfer yang mendukung karakteristik imajinatif planet Mars. Hal ini membuktikan bahwa kombinasi teknik geometri dan efek atmosferik mampu menciptakan visual yang meyakinkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. K. Musgrave. 2018. The Synthesis and Rendering of Eroded Fractal Terrains. New York: Springer, 1989.
- [2] T. Akenine-Möller et al., Real-Time Rendering, 4th ed. CRC Press, 2018.
- [3] M. Pharr, W. Jakob, and G. Humphreys. 2016. Physically Based Rendering: From Theory to Implementation, 3rd ed. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann.

- [4] R. Gomez and M. Santos. 2022. "Integration of Satellite Elevation Data for Virtual Environment Modeling," *Journal of Digital Imaging and Animation*, vol. 9, no. 4, pp. 45–58.
- [5] L. Tan et. al., 2023 "High-Resolution Terrain Rendering using Displacement Mapping in Blender," *International Journal of Computer Graphics*, vol. 15, no. 1, pp. 12–25.
- [6] S. Weiss and R. Westermann. 2021. "Triplanar Displacement Mapping for High-Resolution Terrain," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 27, no. 10, pp. 3850–3862.
- [7] H. Chen and Q. Zhou. 2025. "Height Map Resolution Enhancement for Geometric Displacement," *Asian Journal of 3D Computer Graphics*, vol. 18, no. 1, pp. 74–89.
- [8] A. Pratama et al. 2024. "Procedural Texturing and Displacement Mapping Workflow in Animation Industry," *Journal of Creative Industry Technology*, vol. 12, no. 2, pp. 88–101.
- [9] X. Li and Y. Wang. 2021. "Optimization of Cinematic Environment Rendering and VRAM Management," *IEEE Transactions on Visual Computing*, vol. 28, no. 3, pp. 210–222.
- [10] I. V. Kerlow. 2009. *The Art of 3D Computer Animation and Effects*, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons.
- [11] W. Vaughan. 2021. *Digital Modeling*, 1st ed. Berkeley, CA, USA: New Riders.
- [12] D. S. Ebert, F. K. Musgrave, D. Peachey, K. Perlin, and S. Worley. 2023. *Texturing and Modeling: A Procedural Approach*, 3rd ed. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann.
- [14] Blender Foundation. 2024. "Blender 4.2 Reference Manual," [online]
- [15] M. Koo and S.-W. Yang. 2025. "Likert-Type Scale," *Encyclopedia*, vol. 5, no. 1, p. 18, Feb. 2025, doi: 10.3390/encyclopedia5010018.