

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan mengenai efektivitas teknik optimisasi *rendering* terhadap stabilitas performa game dalam kondisi *GPU bottleneck*, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Penerapan teknik Level of Detail (LOD) dan Occlusion Culling terbukti efektif dalam mengurangi beban kerja GPU pada mesin pengembang Unity. Hasil eksperimen pada sampel 4 menunjukkan bahwa teknik LOD mampu memberikan reduksi jumlah poligon (*triangles*) yang sangat signifikan, dari 15,89 juta menjadi 8,34 juta. Penurunan beban geometri ini berdampak langsung pada efisiensi *GPU Time* yang menurun dari 27,07 ms menjadi 21,29 ms pada skenario kombinasi, membuktikan bahwa optimasi rendering mampu mereduksi hambatan pada kondisi *GPU bottleneck*.
- b. Teknik LOD memberikan peningkatan performa yang paling dominan dibandingkan *Occlusion Culling* secara mandiri, khususnya pada karakteristik scene luar ruangan dengan objek yang tersebar. Secara kuantitatif, skenario LOD secara konsisten memberikan kenaikan *Average FPS* tertinggi, sementara Skenario Kombinasi (LOD + *Occlusion Culling*) merupakan teknik yang paling optimal dalam memberikan keseimbangan antara reduksi geometri dan stabilitas *frame rate*. Sebaliknya, *Occlusion Culling* memberikan dampak yang minimal pada penelitian ini disebabkan oleh karakteristik objek model rumah yang memiliki ukuran seragam, sehingga tidak mampu berfungsi sebagai *occluder* yang masif untuk menutupi objek besar lainnya. Selain itu, *Occlusion culling* memiliki *trade-off* performa yang harus dipertimbangkan. Proses kalkulasi visibilitas terbukti membebankan *overhead* komputasi tambahan pada CPU. Pada perangkat dengan spesifikasi terbatas *overhead* ini menyebabkan peningkatan waktu pemrosesan CPU yang justru kontraproduktif jika reduksi beban GPU yang dihasilkan tidak signifikan.

- c. Tingkat efektivitas teknik optimisasi menunjukkan pola skalabilitas yang berbeda berdasarkan spesifikasi perangkat keras. Pada perangkat Low-end, optimasi berperan krusial dalam menjaga stabilitas dan kelayakan bermain. Teknik optimasi berhasil mengangkat 1% Low FPS dan mencegah penurunan performa ke level kritis yang dapat menyebabkan stuttering berat. Pada perangkat High-end, optimasi lebih berperan dalam meningkatkan batas performa, yang memungkinkan pencapaian Average FPS di atas 109 FPS serta meminimalkan *micro-stuttering* dengan nilai 0.1% Low FPS yang lebih tinggi dibandingkan skenario lainnya.

5.2 Saran

Berdasarkan proses penelitian dan hasil evaluasi yang telah dilakukan, terdapat beberapa hal yang dapat dikembangkan lebih lanjut oleh peneliti berikutnya untuk menyempurnakan optimasi rendering pada game engine:

- a. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan lingkungan uji dengan variasi ukuran objek yang lebih kontras perpaduan objek masif dan objek kecil. Hal ini bertujuan untuk menguji efektivitas Occlusion Culling secara lebih mendalam, mengingat dalam penelitian ini objek rumah yang seragam membuat mekanisme occlusion tidak bekerja secara maksimal.
- b. Perlu dilakukan penelitian komparatif yang membandingkan efektivitas teknik optimasi pada dua jenis lingkungan yang berbeda secara ekstrem indoor dan outdoor. Hal ini akan memberikan data yang lebih komprehensif mengenai kapan sebuah teknik optimasi harus diprioritaskan berdasarkan konteks spasial *game*.
- c. Pengujian dapat dikembangkan pada platform lain seperti *Virtual Reality* (VR) mandiri atau perangkat *mobile* dengan sistem operasi yang berbeda untuk melihat apakah perbedaan *Graphic API* mempengaruhi skalabilitas dari teknik LOD dan *Culling* yang diterapkan.