

IMPLEMENTASI SIMULASI 3D GELOMBANG LAUT BERBASIS FOURIER TRANSFORM UNTUK MONITORING KONDISI PERAIRAN REAL-TIME

Noer Fauzan Detya Gulfiar

ABSTRAK

Penyajian data gelombang laut BMKG saat ini didominasi oleh teks numerik statis dan peta kontur 2D, sehingga membatasi pemahaman dinamika perairan secara intuitif. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem simulasi 3D gelombang laut secara real-time berbasis data observasi stasiun buoy dari Cloud Firestore. Metode simulasi menggunakan pendekatan spektral hibrida JONSWAP-TMA dan fungsi directional spreading Cosine-2s. Parameter fisik panjang embusan angin (fetch) dideduksi menggunakan iterasi Newton-Raphson pada CPU. Untuk mencapai visualisasi yang responsif, seluruh kalkulasi spektral dan algoritma IFFT 2D didelegasikan secara paralel ke GPU melalui Compute Shader (HLSL). Optimasi beban rendering mesh menggunakan teknik Geometric Clipmap dengan sembilan tingkatan Level of Detail (LOD). Sinkronisasi data dioptimalkan via AsyncGPUReadback dan in-memory caching. Hasil pengujian pasca-build pada grid kaskade 256×256 menunjukkan jalur GPU berjalan sangat stabil pada rata-rata 100,7 FPS (frame time 9,9 ms), mengungguli jalur sekuensial CPU yang jatuh hingga 6,6 FPS (frame time 150,8 ms). Pemanfaatan komputasi paralel GPU terbukti mampu menghasilkan visualisasi laut 3D yang realistis untuk mendukung sistem monitoring oseanografi modern.

Kata Kunci: Simulasi 3D, JONSWAP, IFFT, Compute Shader, Firestore.

IMPLEMENTASI SIMULASI 3D GELOMBANG LAUT BERBASIS FOURIER TRANSFORM UNTUK MONITORING KONDISI PERAIRAN REAL-TIME

Noer Fauzan Detya Gulfiar

ABSTRACT

BMKG's ocean wave data presentation is currently dominated by static numerical text and 2D contour maps, limiting intuitive understanding of marine dynamics. This research aims to design and implement a real-time 3D ocean wave simulation system based on buoy observation data from Cloud Firestore. The simulation utilizes a hybrid JONSWAP-TMA spectral approach and Cosine-2s directional spreading function. The physical fetch parameter is numerically deduced using Newton-Raphson iteration on the CPU. To achieve responsive visualization, all spectral calculations and the 2D IFFT algorithm are delegated in parallel to the GPU via Compute Shaders (HLSL). Mesh rendering optimization employs the Geometric Clipmap technique with nine Level of Detail (LOD) tiers. Data synchronization is optimized via AsyncGPUReadback and local in-memory caching. Post-build evaluation on a 256×256 cascade grid demonstrates that the GPU path runs stably at an average of 100.7 FPS (9.9 ms frame time), significantly outperforming the sequential CPU path which drops to 6.6 FPS (150.8 ms frame time). Leveraging parallel GPU computing effectively delivers realistic 3D ocean visualizations for modern oceanographic monitoring.

Keyword: 3D Simulation, JONSWAP, IFFT, Compute Shader, Firestore.