

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan Plane Finder pada aplikasi pembelajaran berbasis Augmented Reality menggunakan algoritma FAST Corner Detection serta mengevaluasi stabilitas penempatan objek virtual berdasarkan parameter *drift*, *jitter*, dan *floating*. Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terkait penerapan FAST Corner Detection pada Plane Finder Vuforia, dapat disimpulkan bahwa algoritma FAST berhasil diimplementasikan pada aplikasi pembelajaran berbasis Augmented Reality *markerless* yang dikembangkan menggunakan Unity dan Vuforia. Implementasi tersebut memungkinkan sistem melakukan ekstraksi fitur visual berupa titik sudut (*corner*) pada permukaan yang diamati kamera. Hasil pengujian menunjukkan bahwa FAST mampu mendeteksi fitur visual pada seluruh kondisi pencahayaan yang diuji dengan rata-rata 517,47 fitur pada sesi siang, 43,10 fitur pada sesi sore, dan 205,13 fitur pada sesi malam. Selain itu, waktu deteksi yang diperoleh relatif konsisten pada kisaran 33–38 ms sehingga proses ekstraksi fitur dapat dijalankan pada perangkat *mobile* yang digunakan selama penelitian.
2. Penelitian ini memberikan kontribusi empiris mengenai pengaruh integrasi algoritma FAST Corner Detection terhadap tiga parameter stabilitas objek virtual pada sistem AR berbasis *markerless* plane detection, yaitu *drift*, *jitter*, dan *floating*. Pertama, penelitian ini membuktikan bahwa FAST Corner Detection mampu mereduksi *drift*, yaitu penyimpangan posisi objek virtual terhadap posisi awal, secara signifikan dengan rentang reduksi 72,57% hingga 100% pada seluruh kondisi pencahayaan yang diuji, mengindikasikan bahwa ketersediaan *feature point* yang memadai berkorelasi dengan kemampuan sistem mempertahankan referensi posisi objek virtual secara konsisten. Kedua, penelitian ini menemukan bahwa parameter *jitter*, yaitu fluktuasi mikro posisi objek pada kondisi kamera statis, tidak dipengaruhi oleh ada atau tidaknya proses ekstraksi *corner*, karena kedua metode menghasilkan nilai 0,000000 m. Temuan ini mengindikasikan bahwa *jitter* pada sistem AR berbasis *plane detection* lebih dipengaruhi oleh akurasi pose *estimation* Vuforia dan stabilitas sensor perangkat dibandingkan ketersediaan *feature point* yang dihasilkan oleh FAST Corner Detection. Ketiga, penelitian ini membuktikan bahwa FAST Corner Detection berkontribusi pada reduksi *floating*, yaitu deviasi posisi vertikal objek virtual setelah gangguan pelacakan, dengan rentang reduksi 89,96% hingga 100%, yang menunjukkan bahwa sistem dengan ekstraksi fitur visual aktif lebih cepat memulihkan referensi posisi vertikal setelah *tracking* sempat terputus dibandingkan sistem tanpa optimasi. Secara keseluruhan, temuan ini memberikan landasan empiris bahwa optimasi ekstraksi fitur visual melalui algoritma FAST Corner Detection secara selektif memengaruhi parameter stabilitas AR, efektif mereduksi *drift* dan *floating*, namun tidak berdampak pada *jitter* yang dikendalikan oleh faktor sensor perangkat.

3. Penelitian ini mengindikasikan adanya kecenderungan hubungan antara jumlah *feature point* yang berhasil diekstraksi oleh algoritma FAST Corner Detection dengan tingkat stabilitas penempatan objek virtual pada sistem AR berbasis *plane detection*, khususnya pada skenario pergerakan mengelilingi objek AR. Kondisi pengujian yang menghasilkan jumlah *corner* lebih sedikit, sebagaimana terjadi pada sesi sore dengan rata-rata 42,72 *corner* dibandingkan sesi siang (489,62 *corner*) dan sesi malam (218,26 *corner*), pada skenario tersebut berkorelasi dengan nilai *drift* FAST yang lebih tinggi (0,0117 m pada sore, dibandingkan 0,0060 m pada malam dan 0,0015 m pada siang). Namun demikian, pola ini tidak sepenuhnya konsisten pada seluruh skenario pengujian, sehingga hubungan tersebut dipandang sebagai kecenderungan pada kondisi tertentu dan bukan korelasi yang berlaku umum. Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa stabilitas pelacakan tidak semata ditentukan oleh intensitas cahaya secara absolut, melainkan oleh kemampuan sistem dalam mengekstraksi fitur visual yang memadai dari permukaan yang diamati. Hal ini terlihat dari sesi malam yang meskipun memiliki intensitas cahaya lebih rendah dibandingkan sesi sore, justru menghasilkan jumlah *corner* yang lebih banyak (218,26 berbanding 42,72). Temuan ini memberikan landasan empiris bahwa optimasi ekstraksi fitur visual melalui algoritma FAST Corner Detection merupakan pendekatan yang efektif untuk meningkatkan stabilitas penempatan objek virtual pada aplikasi AR berbasis *markerless plane detection*, khususnya dalam kondisi pencahayaan yang bervariasi.
4. Berdasarkan hasil User Acceptance Testing (UAT) yang dilakukan terhadap terapis ASD sebagai pengguna ahli (expert user), dapat disimpulkan bahwa aplikasi yang dikembangkan memperoleh tingkat penerimaan yang sangat baik. Aplikasi memperoleh nilai rata-rata sebesar 4,94 dari skala maksimum 5,00 atau setara dengan tingkat kelayakan sebesar 98,75% yang termasuk dalam kategori Sangat Layak. Hasil tersebut menunjukkan bahwa aplikasi dinilai mudah digunakan, memiliki kualitas objek Augmented Reality yang baik, serta berpotensi mendukung proses pembelajaran dan terapi bagi anak dengan Autism Spectrum Disorder (ASD). Selain itu, masukan yang diberikan responden menunjukkan bahwa visualisasi objek dinilai menarik dan menyerupai bentuk nyata, sementara pengembangan kategori pembelajaran yang lebih beragam serta penambahan variasi *reward* menjadi peluang pengembangan aplikasi pada penelitian selanjutnya.

5.2 Saran

Meskipun penelitian ini telah berhasil mencapai tujuan yang ditetapkan, masih terdapat beberapa keterbatasan yang dapat menjadi peluang pengembangan pada penelitian selanjutnya. Berdasarkan hasil pengujian serta masukan yang diperoleh dari responden, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya dapat melakukan pengujian pada perangkat *mobile* dengan spesifikasi yang lebih beragam untuk mengevaluasi pengaruh kemampuan perangkat terhadap performa FAST Corner Detection dan stabilitas objek virtual yang dihasilkan.
2. Pengujian dapat diperluas pada kondisi lingkungan yang lebih bervariasi, seperti tekstur permukaan yang berbeda, kondisi pencahayaan ekstrem, maupun lingkungan dengan gangguan visual yang lebih kompleks.
3. Penelitian selanjutnya dapat membandingkan FAST Corner Detection dengan algoritma deteksi fitur lainnya, seperti ORB, atau Harris Corner Detection untuk memperoleh metode yang paling sesuai pada sistem Augmented Reality *markerless*.
4. Evaluasi aplikasi dapat melibatkan lebih banyak terapis maupun pengguna ASD sehingga diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai efektivitas aplikasi sebagai media pendukung pembelajaran.
5. Berdasarkan masukan dari responden, aplikasi dapat dikembangkan dengan menambahkan kategori pembelajaran yang lebih beragam, fitur pendukung komunikasi bagi anak ASD, serta variasi *reward* interaktif seperti efek visual dan audio untuk meningkatkan motivasi selama proses pembelajaran.
6. Penelitian selanjutnya dapat memperluas analisis sensitivitas parameter FAST Corner Detection yang telah dilakukan pada penelitian ini (subbab 4.3.1) dengan menguji kombinasi *multi-parameter* serta variasi spesifikasi perangkat yang lebih luas, guna mengidentifikasi kombinasi nilai yang paling optimal pada berbagai kondisi pencahayaan dan perangkat.