

Interaksi pada Museum Virtual Menggunakan Pengindra Tangan dengan Penyajian *Stereoscopic 3D*

Gary Almas Samaita, Dr. Surya Sumpeno, S.T., MSc., dan Muhtadin, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: surya@ee.its.ac.id, muhtadin_s@elect-eng.its.ac.id, samaita10@mhs.ee.its.ac.id

Abstrak—Kemajuan teknologi menjadikan museum mengembangkan cara penyajian koleksinya. Salah satu teknologi yang diadaptasi dalam penyajian museum virtual adalah *Virtual Reality (VR)* dengan *stereoscopic 3D*. Sayangnya, museum virtual dengan teknik penyajian *stereoscopic* masih menggunakan *keyboard* dan *mouse* sebagai perangkat interaksi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menerapkan interaksi dengan pengindra tangan pada museum virtual dengan penyajian *stereoscopic 3D*. Museum virtual divisualisasikan dengan teknik *stereoscopic side-by-side* melalui *Head Mounting Display (HMD)* berbasis *Android*. HMD juga memiliki fungsi *head tracking* dengan membaca orientasi kepala. Interaksi tangan diterapkan dengan menggunakan pengindra tangan yang ditempatkan pada HMD. Karena pengindra tangan tidak didukung oleh HMD berbasis *Android*, maka digunakan *server* sebagai perantara HMD dan pengindra tangan. Setelah melalui pengujian, diketahui bahwa rata-rata *confidence rate* dari pembacaan pengindra tangan pada pola tangan untuk memicu interaksi adalah sebesar 99,92% dengan rata-rata efektifitas 92,61%. Uji ketergunaan juga dilakukan dengan pendasaran ISO/IEC 9126-4 untuk mengukur efektifitas, efisiensi, dan kepuasan pengguna dari sistem yang dirancang dengan meminta partisipan untuk melakukan 9 tugas yang mewakili interaksi tangan dalam museum virtual. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua pola tangan yang dirancang dapat dilakukan oleh partisipan meskipun pola tangan dinilai cukup sulit dilakukan. Melalui kuisisioner diketahui bahwa total 86,67% partisipan setuju bahwa interaksi tangan memberikan pengalaman baru dalam menikmati museum virtual.

Kata Kunci—Museum virtual, Pengindra tangan, *Stereoscopic 3D*, *Head Mounting display*.

I. PENDAHULUAN

MUSEUM berfungsi sebagai lembaga yang melindungi, mengembangkan, memanfaatkan, dan mengkomunikasikan informasi dan koleksi bersejarah kepada masyarakat. Dalam praktiknya, fungsi ini lebih banyak memanfaatkan eksibisi statis yang digelar di museum itu sendiri. Hal ini terjadi akibat besarnya risiko dalam melakukan pameran, terutama dari segi pemeliharaan dan transportasi obyek museum yang dipamerkan. Maka dari itu, museum pun memanfaatkan teknologi dalam menyajikan koleksinya. Teknologi berupa museum virtual, yang secara utuh ataupun tidak, mewakili museum fisik untuk menjalankan fungsinya. Kemajuan teknologi menjadikan museum virtual dapat dirancang dengan berbagai cara dan digunakan sebagai

perantara informasi dalam pengetahuan.

Salah satu teknologi yang diadaptasi untuk penyajian museum virtual adalah *Virtual Reality (VR)*. VR adalah simulasi dimensi tiga dari lingkungan nyata atau khayalan yang dibangun secara digital dan dialami secara visual untuk menciptakan ilusi realita [1]. Saat ini, VR secara luas divisualisasikan dengan teknik *stereoscopic* untuk menimbulkan persepsi kedalaman pada pengguna sehingga informasi visual dapat terasa imersif. Sayangnya, museum virtual dengan teknik penyajian *stereoscopic* masih menggunakan interaksi tangan dengan *keyboard* dan *mouse*.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menerapkan interaksi dengan pengindra tangan pada museum virtual dengan penyajian *stereoscopic 3D*. Museum virtual divisualisasikan dengan teknik *stereoscopic* melalui *Head Mounting Display (HMD)* berbasis *android*. Sementara itu, interaksi tangan diterapkan dengan menggunakan pengindra tangan HMD.

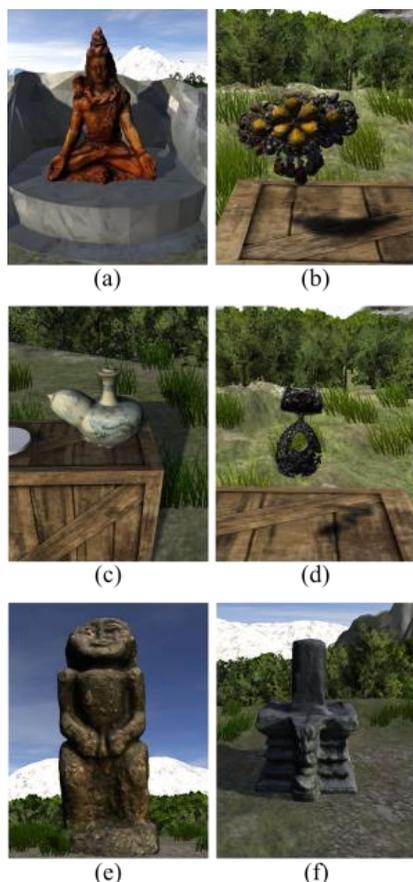
II. DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

A. Tahap Pengumpulan Koleksi Digital

Museum virtual membutuhkan koleksi yang dapat dipamerkan. Maka dari itu, pada tahap ini dilakukan pengumpulan koleksi digital. Penelitian ini melakukan rekonstruksi dimensi tiga pada objek yang merepresentasikan koleksi museum dengan memanfaatkan *photogrammetry*.

Photogrammetry adalah salah satu teknik yang digunakan dalam memperoleh bentuk dimensi tiga dari citra dimensi dua. *Photogrammetry* secara luas digunakan untuk proses rekonstruksi dimensi tiga dari sebuah objek ke dalam format digital, baik dalam industri manufaktur maupun industri konstruksi. Dalam penelitian ini, *photogrammetry* dilakukan dengan menggunakan *Structure-from-Motion (SfM)* dan *Multi-view Stereo* [2]-[6] untuk memperoleh *dense point cloud*. Hasil berupa *point cloud* diproses kembali untuk mendapatkan *mesh* dengan tekstur. *Mesh* diperoleh dengan *surface reconstruction* dengan *Poisson*. Sementara tekstur diterapkan dengan menggunakan posisi kamera dan raster pada *mesh*.

Gambar 1 menunjukkan seluruh koleksi yang dipamerkan dalam museum virtual, yakni, patung dewa Siwa, perhiasan kembang cokelat, perhiasan kembang silver, kendi susu, patung primitif, dan lingga yoni. Keenam koleksi ini telah melalui *mesh*



Gambar. 1. Koleksi dimensi tiga yang dipamerkan: (a) patung Siwa, (b) perhiasan kembang coklat, (c) perhiasan kembang silver, (d) kendi susu, (e) patung primitif, dan (f) lingga yoni.

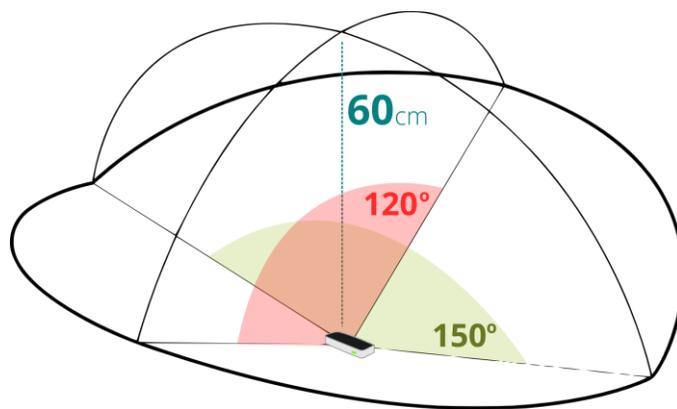
decimation, sehingga jumlah *vertex* dan *face* telah turun dari hasil aslinya dengan mengorbankan kualitas tampilan.

B. Tahap Pembuatan Museum Virtual

Museum virtual yang didesain tidak dimodelkan berdasarkan museum virtual yang ada di dunia nyata. Namun, beberapa koleksi yang ditampilkan merupakan hasil dari rekonstruksi dimensi tiga koleksi museum sebenarnya. Dalam museum virtual, terdapat dua kelompok objek yang ditampilkan berdasarkan fungsinya. Kelompok objek pertama adalah objek hasil rekonstruksi dimensi tiga yang dipamerkan sebagai koleksi dari museum virtual. Kelompok objek kedua adalah objek dimensi tiga yang difungsikan sebagai dekorasi.

Museum virtual memberikan pengguna akses panduan dan bantuan interaksi untuk memudahkan pengguna yang belum menguasai interaksi tangan. Panduan tampil saat pertama museum virtual dijalankan dan dapat diakses dengan tombol yang ada pada tangan kiri virtual. Sementara bantuan interaksi disematkan pada tiap koleksi untuk membantu pengguna mengenali interaksi yang dapat digunakan untuk berinteraksi dengan tiap koleksi.

Dalam museum virtual, terdapat sebuah objek berbentuk kapsul. Objek kapsul tersebut direferensikan sebagai agen. Agen adalah objek perantara yang dikendalikan oleh pengguna dalam eksplorasi museum virtual. Agar pengguna dapat leluasa dalam eksplorasi museum virtual, agen diatur agar dapat berotasi terhadap sumbu-Y untuk dan bertranslasi terhadap



Gambar. 2. Jarak pembacaan efektif Leap Motion.

sumbu-Z. Agen memiliki dua kamera yang diletakkan secara paralel dengan jarak antar kamera sebesar 2,5 inci atau 6,5cm sesuai dengan rata-rata jarak mata manusia^[7]. Kedua kamera menghasilkan citra stereo untuk digunakan dalam *stereoscopic display*. Citra yang diambil oleh kamera tampil pada monitor *server* melalui proses *rendering*.

Agen juga memiliki zona interaksi Leap Motion yang ikut bertranslasi dengan agen. Zona interaksi adalah area dimana objek tangan virtual ditampilkan yang disesuaikan dengan posisi tangan pengguna dalam koordinat dunia.

C. Tahap Implementasi Sistem Interaksi

Pada sistem interaksi, pengindera Leap Motion [8] digunakan sebagai masukan interaksi dengan membaca fitur tangan pengguna yang ada dalam jarak efektif Leap Motion seperti yang diilustrasikan pada gambar 2. Leap Pengindera Leap Motion mengirimkan citra grayscale untuk diproses oleh Leap Motion Service. Data yang telah diproses oleh Leap Motion Service diakses dengan menggunakan SDK.

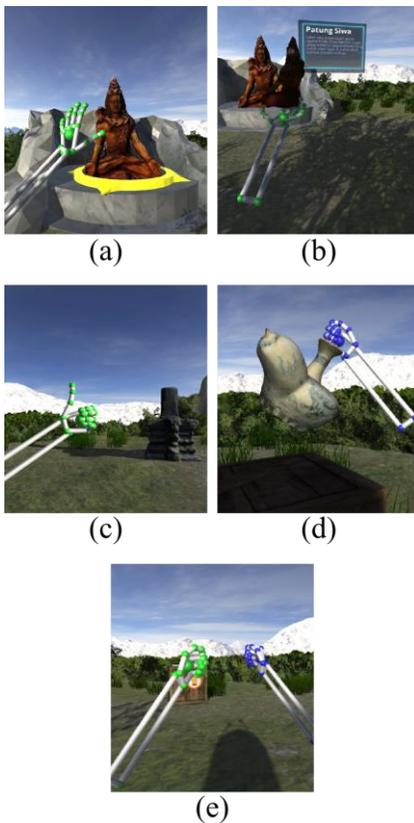
Sebelum digunakan dalam penginderaan tangan, Leap Motion perlu melalui proses kalibrasi. Proses kalibrasi dilakukan dengan menghadapkan Leap Motion pada permukaan datar seperti monitor atau cermin. Leap motion lalu dihadapkan keseluruhan permukaan kalibrasi tanpa merubah posisi awal. Proses kalibrasi diteruskan hingga mencapai nilai 80 untuk menjamin penginderaan yang stabil dan akurat.

Data diambil dari Leap Motion Service dengan memanggil fungsi untuk memilah informasi dari tiap frame yang telah diproses. Data yang diperoleh dengan memanggil fungsi yang telah disiapkan oleh Leap Motion Service, dimanfaatkan dalam penyusunan algoritma interaksi tangan [9]. Dalam penelitian ini, terdapat lima interaksi yang diterapkan, yaitu seleksi, inspeksi, tutup informasi, genggam koleksi, dan eksplorasi.

1) Seleksi

Selayaknya museum konvensional, koleksi yang dipamerkan dalam museum virtual memiliki informasi yang telah ditempatkan dekat dengan koleksi tersebut. Namun, pada penelitian ini, koleksi harus diseleksi oleh pengguna dalam durasi tertentu. Setelah durasi waktu terlampaui, informasi pun disajikan pada pengguna.

Interaksi diawali dengan memilah tangan yang terdeteksi oleh pengindera Leap Motion. Tangan kanan dan kiri dibedakan



Gambar. 3. Contoh interaksi (a) Seleksi, (b) Inspeksi, (c) Tutup Informasi, (d) Genggam Koleksi, dan (e) Eksplorasi yang telah diterapkan.

dalam perhitungan durasi waktu untuk mencegah terjadinya saling tindih perhitungan durasi antara kedua tangan.

Tiap tangan dilengkapi dengan *raycast*, garis lurus kasat mata yang bermula dari satu titik ke arah suatu titik lainnya dalam jarak tertentu. Tubrukan antara *raycast* dengan koleksi menjadi pemicu terjadinya interaksi seleksi. Jika tubrukan terus terjadi dalam durasi tertentu, informasi dari koleksi yang bertubrukan dengan *raycast* akan ditampilkan.

2) Inspeksi

Inspeksi adalah interaksi yang dapat dilakukan setelah terdapat informasi yang tampil karena dipicu oleh interaksi seleksi. Informasi yang ditampilkan tak hanya berupa teks namun juga koleksi yang bisa diamati secara mendetil. Pengamatan objek tersebut dapat dipicu dengan interaksi inspeksi, yakni menengadahkan telapak tangan kiri ke atas dengan telapak terbuka. Koleksi dalam ukuran kecil ditampilkan pada telapak tangan kiri selama tangan kiri berada dalam posisi tersebut. Tujuan interaksi inspeksi adalah memberikan pengguna sudut pandang koleksi yang diseleksi dari berbagai arah.

3) Tutup Informasi

Interaksi ini berfungsi dalam mengakhiri interaksi seleksi dan menutup semua informasi yang tampil. Pola tangan yang dikenali sebagai pemicu interaksi ini adalah mengangkat ibu jari dengan tangan terkepal. Pola tangan tersebut secara tidak langsung menyatakan bahwa pengguna memahami atau mengerti isi dari informasi yang ditampilkan.

4) Genggam Koleksi



Gambar. 4. Pengguna mengenakan HMD yang telah dimodifikasi untuk penambahan *Leap Motion* pada sisi depan.

Sebagian dari koleksi yang dipamerkan memiliki ukuran yang tidak cukup besar untuk mudah dibidik dengan *raycast*. Koleksi berukuran kecil juga memiliki detail yang menambah daya tarik tersendiri. Koleksi ini diinteraksikan tidak dengan *raycast* melainkan dengan genggam. Sehingga pengguna dapat merasakan bagaimana berinteraksi dengan menggenggam dan mengangkat koleksi.

Koleksi yang dapat digenggam memiliki bagian khusus yang disebut dengan *grasp area* dan lokasi inisial. *grasp area* mendefinisikan area yang perlu dimasuki oleh tangan sekaligus sebagai titik nol translasi antara koleksi terhadap tangan. Jika tangan yang berada dalam *grasp area* membentuk pola tangan genggam, maka koleksi akan ikut bertranslasi terhadap telapak tangan. Sementara lokasi inisial adalah titik dimana koleksi akan dimunculkan kembali apabila koleksi terjatuh dari genggamannya atau lokasi penyajian.

5) Eksplorasi

Pengguna diberikan kebebasan dalam menjelajahi museum virtual dalam batas tertentu. Pengguna dapat melakukan eksplorasi dengan memicu perubahan arah dan posisi agen yang menampilkan museum virtual. Perubahan posisi agen terhadap sumbu-Z digunakan sebagai aksi maju dan mundur. Sementara pergerakan agen terhadap sumbu-Y digunakan sebagai aksi menghadap kiri atau pun kanan.

Perubahan arah agen terhadap sumbu-Y dipicu dengan menempatkan tangan pada salah satu tepi jarak interaksi *Leap Motion*. Jika tangan kanan diposisikan pada tepi kanan jarak interaksi, maka agen akan perlahan merubah arah ke kanan. Sebaliknya, jika tangan kiri diposisikan pada tepi kiri jarak interaksi, maka agen akan perlahan merubah arah ke kiri.

D. Tahap Implementasi Sistem Visualisasi

Sistem visualisasi museum virtual terdiri dari beberapa perangkat keras pendukung, yakni HMD dan *server*. HMD digunakan sebagai wadah bagi dua hal, yaitu *display* dan pengindera tangan, *Leap Motion*. HMD menggunakan *display* sebagai *stereoscopic display side-by-side* [10]. *Display* menerima dan menampilkan citra stereo dari *server* sekaligus mengumpan balik pembacaan sensor *gyroscope* sebagai *head tracking* [11]. HMD dimodifikasi untuk menyangga *Leap Motion* pada sisi depan HMD, sejajar dengan arah pandang

mata. Tujuan dari penempatan *Leap Motion* pada HMD adalah agar pengguna tetap mengetahui posisi pengindera tangan karena pengindera tangan selalu mengikuti arah pandang pengguna.

Server berfungsi sebagai *host* bagi museum virtual dan *Leap Motion Service*. *Server* dimanfaatkan sebagai perantara antara *Leap Motion* dan HMD karena *Leap Motion* tidak memiliki dukungan terhadap sistem operasi *android* yang ada pada HMD. *Server* melakukan *rendering* sudut pandang agen dalam museum virtual untuk ditransmisikan ke HMD sekaligus menerima pembacaan sensor *gyroscope* untuk diterapkan pada kamera yang ada pada agen. Trasmisi dua arah ini dilakukan dengan memanfaatkan protokol *Android Debug Bridge (ADB)*. *Server* juga mengolah informasi fitur tangan dari *Leap Motion* untuk diterapkan pada model tangan pada museum virtual

III. HASIL PENGUJIAN

Pada penelitian ini, terdapat tiga pengujian yang dilakukan. Pengujian pertama adalah pengujian performansi sistem, dimana kinerja diukur pada beberapa *server* dengan daya komputasi yang berbeda. Pengujian kedua adalah pengujian performansi pengindera tangan, dimana kemampuan baca pengindera tangan diukur dengan memberikan serangkaian pola tangan untuk memicu interaksi. Sementara pengujian kedua adalah pengujian ketergunaan, dimana sistem diuji dengan melibatkan partisipan untuk mengetahui efektifitas, efisiensi, dan kepuasan pada sistem bagi partisipan. Dalam mengukur kualitas ketergunaan, pengujian pada penelitian ini menggunakan metrik ketergunaan yang mengacu pada ISO/IEC 9126-4. Berdasarkan standar tersebut, metrik ketergunaan setidaknya memperhitungkan efektifitas, efisiensi, dan kepuasan [12].

Untuk dapat menerapkan metrik ketergunaan, pada pengujian dalam penelitian ini, partisipan diminta untuk menyelesaikan tiga skenario yang mewakili penggunaan interaksi dengan penginderaan tangan. Tiap skenario memiliki jenis tugas yang berbeda sesuai dengan interaksi yang diuji. Parameter yang diukur dari tiap tugas sama, yakni waktu yang diperlukan bagi partisipan untuk dapat menyelesaikan atau memilih berhenti melakukan tugas yang diberikan. Dari ketiga skenario, terdapat 9 tugas yang perlu diselesaikan oleh partisipan.

A. Pengujian Performansi Sistem

Pada pengujian performansi, sistem diuji pada beberapa *server* dengan daya komputasi yang berbeda. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui performansi sistem apabila dijalankan pada *server* yang beragam. Pada penelitian ini, digunakan tiga *server* untuk melakukan pengujian performansi dengan melalui *benchmark* terlebih dahulu. Tabel 1. Berisikan hasil *benchmark server* dengan *Cinebench R11.5* [11].

Tabel. 1
Hasil *benchmark server* untuk pengujian performansi

Parameter	PC 1	PC 2	PC 3
OpenGL 64Bit (<i>frame per Second</i>)	83,55	13,69	6,43
CPU <i>Multi-core</i> (<i>points</i>)	7,61	1,64	1,67
CPU <i>Single-core</i> (<i>points</i>)	1,63	0,50	0,49

Pada hasil *benchmark*, diketahui bahwa dari ketiga *server*, PC 1 memiliki skor *benchmark* OpenGL, CPU *Multi-core*, dan CPU *Single-core* yang paling tinggi dengan perbedaan yang signifikan. *Server* PC 1 memiliki daya komputasi yang tinggi sebagai kondisi *server* ideal dalam menjalankan museum virtual. Hasil dari pengujian dengan melakukan skenario interaksi eksplorasi dapat dilihat pada gambar 5.

Sama seperti pada pengujian performansi sistem pada *server* PC 1, meski pada saat agen berjalan *vertex* yang ditangkap kurang dari 1.000.000 *vertex*, namun *frame rate* yang diperoleh baik pada PC 2 dan PC 3 mengalami fluktuatif. Jika dibandingkan, perolehan pada pengujian performansi *server* PC 2 dan PC 3 jauh lebih rendah dibandingkan dengan perolehan pengujian performansi *server* PC 1. Kedua PC tersebut hanya mampu mencapai maksimal 28 fps dan 30,25 fps. Hal ini diakibatkan daya komputasi PC 2 dan PC 3 yang jauh lebih rendah dibandingkan PC 1.

B. Pengujian Kemampuan Baca Pengindera Tangan

Pada pengujian pengindera tangan, tiap interaksi dicoba untuk dipicu dengan pola tangan yang memenuhi parameter yang diperlukan. Namun, pada beberapa interaksi, pola tangan yang sama dilakukan ulang dengan perbedaan sisi yang tangan tampak dari pengindera tangan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan baca pengindera tangan jika terdapat variasi pola tangan yang dilakukan pengguna pada interaksi yang sama.

Tabel. 2.
Hasil pengujian kemampuan baca pengindera tangan pada interaksi tangan dengan 10 iterasi(I) pada tiap variasi pola.

I	Interaksi & Pola	<i>Confidence Rate</i> (%)		Efektif	
		Kiri	Kanan	Kiri	Kanan
10	Seleksi	99,89	99,81	10	10
10	Inspeksi	99,61	-	10	-
10	Tutup Informasi Pola 1	99,96	99,6	10	10
10	Tutup Informasi Pola 2	99,93	99,93	9	10
10	Tutup Informasi Pola 3	100	99,97	4	5
10	Genggam Koleksi 1	99,95	100	10	10
10	Genggam Koleksi 2	99,91	99,93	10	10
10	Genggam Koleksi 3	99,87	100	7	8
10	Eksplorasi 1	100	100	10	10
10	Eksplorasi 2	100	100	10	10
10	Eksplorasi 3	100	99,96	10	10
10	Eksplorasi Arah Hadap	99,94	99,97	10	10
Rata-rata (%)		99,92		92,61	

Melalui tabel 2, dapat diketahui bahwa tiap interaksi memiliki *confidence rate* pada masing-masing tangan dan efektifitas yang beragam. *Confidence rate* yang diperoleh antara ketiga pola tersebut tidak memiliki selisih yang signifikan. Namun efektifitas ketiga pola memiliki perbedaan besar. Antara ketiga pola yang dicoba, pola ketiga, dimanadengan posisi yang tidak tampak dari pengindera tangan, pengindera tangan tak mampu

membaca bahwa keempat jari berada dalam posisi terkepal. Sehingga pengindera tangan langsung mengasumsikan bahwa keempat jari tersebut berada dalam posisi tegak. Hal yang serupa juga terjadi pada pola 3 genggam koleksi dimana jumlah iterasi yang berhasil memicu interaksi hanya mencapai 7 dari 10 pada tangan kiri dan 8 dari 10 pada tangan kanan.

C. Pengujian Efektifitas

Efektifitas dapat diperhitungkan dengan mengukur *completion rate*. Pengukuran ini meminta partisipan untuk menyelesaikan serangkaian tugas dengan melakukan tiap interaksi tangan yang telah dirancang dan diterapkan pada koleksi museum. Semakin tinggi *completion rate*, semakin efektif sistem tersebut.

$$\text{Effectiveness} = \frac{\text{Completed Tasks}}{\text{Total Number of Tasks}} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Melalui persamaan 1, nilai efektif berdasarkan *completion rate* dapat diketahui dengan persentase dari tugas yang berhasil diselesaikan oleh partisipan dibandingkan jumlah tugas yang diberikan. Berdasarkan pengujian, diperoleh hasil dimana seluruh partisipan mampu menyelesaikan setiap tugas yang diberikan, sehingga *completion rate* dari pengujian ini adalah sebesar 100%.

D. Pengujian Efisiensi

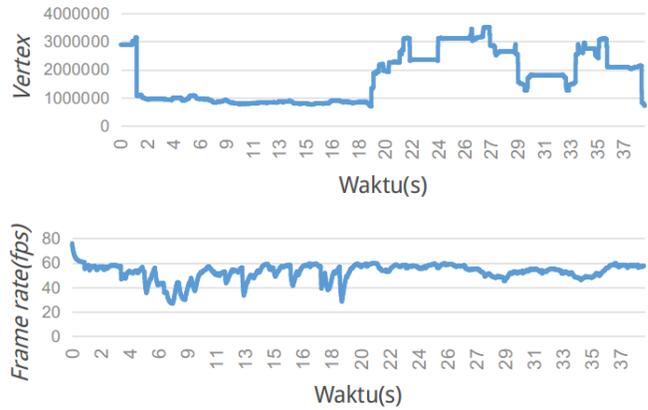
Efisiensi diperhitungkan dengan membandingkan waktu penyelesaian dari suatu tugas. Semakin singkat suatu tugas dapat diselesaikan, semakin efisien sistem tersebut. Dalam penelitian ini, terdapat catatan waktu partisipan dalam tiap penyelesaian tugas. Efisiensi dapat dihitung dengan dua cara, yakni menggunakan *overall relative efficiency* dan *time based efficiency*.

Overall relative efficiency adalah perbandingan antara waktu yang dihabiskan oleh seluruh partisipan yang berhasil menyelesaikan tugas dibandingkan terhadap total waktu yang dihabiskan seluruh partisipan untuk melakukan tugas. Perhitungan efisiensi dengan *overall relative efficiency* dideskripsikan melalui persamaan 2.

$$\text{Overall Relative Efficiency} = \frac{\sum_{j=1}^R \sum_{i=1}^N n_{ij} t_{ij}}{\sum_{i=1}^N t_{ij}} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Dimana dalam pengujian diperoleh persentase *overall relative efficiency* sebesar 100%. Hal ini dicapai karena *completion rate* adalah sebesar 100% yang artinya seluruh partisipan mampu melakukan pola tangan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan seluruh tugas yang diberikan.

Dalam menghitung efisiensi, juga dapat menggunakan pendekatan *time based efficiency*. *Time based efficiency* adalah kecepatan penyelesaian suatu pekerjaan pada suatu sistem dengan membandingkan waktu penyelesaian oleh pengguna terhadap total waktu yang digunakan oleh seluruh pengguna. Perhitungan efisiensi dengan *time based efficiency* dideskripsikan melalui persamaan 3.



Gambar. 5. Grafik pengujian performansi pada server PC 1.

$$\text{Time Based Efficiency} = \frac{\sum_{j=1}^R \sum_{i=1}^N \frac{n_{ij}}{t_{ij}}}{NR} \dots\dots\dots(3)$$

Melalui pengujian, dapat diketahui bahwa *time based efficiency* pada pengujian yang dilakukan oleh partisipan adalah sebesar 0,039 tugas per detik. Sehingga dapat diketahui pula bahwa untuk menyelesaikan satu tugas, setidaknya partisipan memerlukan waktu sebesar 25,64 detik. Nilai tersebut dirasa cukup cepat untuk sebuah sistem yang membutuhkan kombinasi pola tangan yang cukup kompleks. Meski demikian, perolehan waktu interaksi tangan memiliki selisih besar jika dibandingkan dengan perolehan waktu penyelesaian tugas saat partisipan menggunakan keyboard dan mouse. Penyelesaian 9 tugas dengan interaksi tangan memakan waktu rata-rata 678,3 detik sementara penyelesaian tugas dengan *keyboard* dan *mouse* hanya memakan waktu rata-rata sebesar 196,9 detik. Grafik perbandingan rata-rata perolehan waktu penyelesaian tiap tugas pada kedua perangkat dapat dilihat pada gambar 5.

E. Pengujian melalui Kuisisioner

Pengujian melalui kuisisioner diberikan ke partisipan setelah partisipan mencoba museum virtual baik dengan interaksi tangan maupun *keyboard* dan *mouse*. Melalui kuisisioner, dapat disimpulkan beberapa hal. Ilusi kedalaman yang dihasilkan oleh *stereoscopic* dapat dirasakan oleh 46,67% partisipan dan 13,33% lainnya sangat merasakan ilusi kedalaman. Respon pergerakan tangan yang dilakukan oleh partisipan dan tangan yang divisualisasikan pada HMD dirasa lancar bagi 33,33% partisipan. Sementara 20% partisipan merasa respon pergerakan tangan dirasa sangat lancar.

Detil koleksi kurang dapat dinikmati oleh 26,67% partisipan namun 46,67% lainnya masih dapat menikmati detil yang tampak. Terkait interaksi tangan, partisipan merasa bahwa interaksi tangan dalam menampilkan informasi mudah untuk dilakukan. Terdapat 46,67% partisipan menyatakan setuju dan 13,33% menyatakan sangat setuju.

Interaksi tangan untuk memunculkan koleksi pada telapak dirasa 60% partisipan mudah untuk dilakukan. Interaksi tangan untuk menutup informasi disetujui mudah dilakukan oleh 60% partisipan. Interaksi untuk eksplorasi maju dan mundur dirasa

mudah oleh 53,33% partisipan dan sangat mudah bagi 6,67% partisipan. Interaksi untuk merubah arah hadap dirasa mudah oleh 40% partisipan dan 20% lainnya merasa sangat mudah. Di antara interaksi tangan lainnya, interaksi genggam koleksi yang dirasa paling sulit. Setidaknya 33,33% partisipan tidak setuju diimbangi dengan 33,33% partisipan setuju bahwa interaksi genggam koleksi mudah dilakukan.

Setelah partisipan mencoba interaksi *keyboard* dan *mouse* juga interaksi tangan, 46,67% partisipan menilai bahwa adanya interaksi tangan menambah pengalaman baru. Hal tersebut sangat disetujui oleh 40% partisipan lainnya. Kebermanfaatan interaksi tangan dalam museum virtual pun disetujui oleh partisipan. Pernyataan inidisetujui oleh 33,33% partisipan, dan 33,33% lainnya sangat menyetujui.

IV. KESIMPULAN

Dalam penelitian penerapan interaksi pada museum virtual menggunakan pengindera tangan dengan penyajian *stereoscopic* 3D, diperoleh beberapa kesimpulan:

1. Performa museum virtual bergantung pada daya komputasi *server*. Pada *server* dengan skor *Cinebench R11.5 OpenGL* 83,55 fps, museum virtual dapat berjalan hingga 76,13 fps. Namun pada *server* dengan skor *Cinebench R11.5 OpenGL* 13,68 fps dan 6,43 fps, museum virtual hanya dapat berjalan maksimal 27,19 fps dan 30,25 fps.
2. Performa museum virtual dipengaruhi oleh jumlah vertex yang ditangkap pada tiap *frame*. Kondisi agen yang dikendalikan dalam museum virtual juga mempengaruhi performa. Dalam kondisi agen diam di tempat, *frame rate* yang diperoleh stabil. Sementara dalam kondisi agen bergerak, *frame rate* yang diperoleh mengalami fluktuasi.
3. Pengindera tangan mampu mengenali tangan yang terdeteksi dengan rata-rata 99,92% dan efektifitas rata-rata 92,61%. Namun, pengindera tangan kurang mampu membaca pola tangan dengan jari yang tak tampak pada *line-of-sight*.
4. Kompleksitas interaksi genggam koleksi mengakibatkan pola tangan genggam koleksi dinilai sebagai pola tangan yang paling sulit dilakukan.
5. Ilusi kedalaman yang ditampilkan pada *stereoscopic display* dapat dirasakan oleh 46,67% partisipan.
6. Detil koleksi kurang dapat dinikmati oleh 26,67% partisipan namun berimbang dengan 46,67% lainnya yang masih dapat menikmati detil yang tampak.
7. Total 86,67% partisipan setuju bahwa interaksi tangan memberikan pengalaman baru dalam menikmati museum virtual.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Styliani, L. Fotis, K. Kostas, and P. Petros, "Virtual museums, a survey and some issues for consideration," *Journal of Cultural Heritage*, vol. 10, no. 4, pp. 520–528, 2009.
- [2] Y. Furukawa and C. Hernandez, "Multi-view stereo: A tutorial," *Foundations and Trends R in Computer Graphics and Vision*, vol. 9, no. 1-2, pp. 1–148, 2015.
- [3] T. Luhmann, S. Robson, S. Kyle, and I. Harley, *Close range photogrammetry: Principles, methods and applications*. Whittles, 2006.
- [4] T. Schenk, "Introduction to photogrammetry," The Ohio State University, Columbus, 2005.
- [5] N. Snavely, S. M. Seitz, and R. Szeliski, "Photo tourism: exploring photo collections in 3d," in *ACM transactions on graphics (TOG)*, vol. 25, pp. 835–846, ACM, 2006.
- [6] M. Westoby, J. Brasington, N. Glasser, M. Hambrey, and J. Reynolds, "structure-from-motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications," *Geomorphology*, vol. 179, pp. 300–314, 2012.
- [7] S. Reeve and J. Flock, "Basic principles of stereoscopic 3d, online, [http://www.sky.com/shop/export/sites/www.sky.com/shop/PDF D](http://www.sky.com/shop/export/sites/www.sky.com/shop/PDF_D), vol. 3, 2010.
- [8] G. Marin, F. Dominio, and P. Zanuttigh, "Hand gesture recognition with *leap motion* and kinect devices," in *Image Processing (ICIP), 2014 IEEE International Conference on*, pp. 1565–1569, IEEE, 2014.
- [9] J. Layton, "Redesigning our unity core assets new workflow and architecture for orion." <http://blog.leapmotion.com/redesigning-our-unity-core-assets-new-work-flow-and-archit>. Terakhir diakses pada tanggal 25 April 2016.
- [10] M. Hasmanda and R. Kamil, "The modelling of stereoscopic 3d scene acquisition," *Radioengineering*, vol. 21, no. 1, p. 135, 2012.
- [11] "Unity remote 4." <http://docs.unity3d.com/Manual/UnityRemote4.html>. Terakhir diakses pada tanggal 29 April 2016.
- [12] H. Al-Kilidar, K. Cox, and B. Kitchenham, "The use and usefulness of the iso/iec 9126 quality standard," in *Empirical Software Engineering, 2005. 2005 International Symposium on*, pp. 7–pp, IEEE, 2005.