



TUGAS AKHIR - TJ141502

**EKSPLORASI ALAT PERSEMAHYANGAN PADA
MUSEUM VIRTUAL 3D MENGGUNAKAN SENSOR
PENGINDERA TANGAN LEAP MOTION**

I Gede Aris Dharmayasa
NRP 2913 100 004

Dosen Pembimbing
Dr. Surya Sumpeno, ST., M.Sc.
Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT.

Departemen Teknik Komputer
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

[Halaman ini sengaja dikosongkan].



FINAL PROJECT - TJ141502

***EXPLORATION OF PRAYER TOOLS IN 3D
VIRTUAL MUSEUM USING LEAP MOTION FOR
HAND MOTION SENSOR***

I Gede Aris Dharmayasa
NRP 2913 100 004

Supervisors

Dr. Surya Sumpeno, ST., M.Sc.

Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT.

Departement of Computer Engineering
Faculty of Electrical Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

[Halaman ini sengaja dikosongkan].

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Eksplorasi Alat Persembahyangan pada Museum Virtual 3D Menggunakan Sensor Pengindra Tangan Leap Motion**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017

I Gede Aris Dharmayasa

NRP. 2913100004

[Halaman ini sengaja dikosongkan].

LEMBAR PENGESAHAN

Eksplorasi Alat Persembahyangan pada Museum Virtual 3D Menggunakan Sensor Pengindera Tangan Leap Motion

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh : I Gede Aris Dharmayasa (NRP: 2913100004)

Tanggal Ujian : 12 juni 2017

Periode Wisuda : September 2017

Disetujui oleh:

Dr. Surya Sumpeno, ST., M.Sc.
NIP: 196906131997021003

(Pembimbing I)



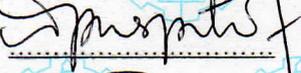
Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T.
NIP: 196907301995121001

(Pembimbing II)



Dr. Diah Puspito Wulandari, ST.
NIP: 198012192005012001

(Penguji I)



Ahmad Zaini, ST., M.Sc.
NIP: 197504192002121003

(Penguji II)



Arief Kurniawan, ST., MT.
NIP: 197409072002121001

(Penguji III)



Mengetahui
Kepala Departemen Teknik Komputer

Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T.
NIP: 196907301995121001



ABSTRAK

Nama Mahasiswa : I Gede Aris Dharmayasa
Judul Tugas Akhir : Eksplorasi Alat Persembahyangan pada Museum Virtual 3D Menggunakan Sensor Pengindra Tangan Leap Motion
Pembimbing : 1. Dr. Surya Sumpeno, ST., M.Sc.
2. Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT.

Kemajuan dalam bidang teknologi saat ini dapat menyampaikan suatu informasi dalam bentuk virtual. Museum virtual ini dirancang untuk mempermudah mempelajari koleksi museum. Teknologi ini dapat diterapkan pada museum virtual dengan menggunakan teknologi 3D Stereoscopic. Museum Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menerapkan interaksi pada museum virtual dengan menggunakan sensor pengindra tangan Leap Motion. Museum virtual ini divisualisasikan menggunakan teknik *Stereoscopic 3D side-by-side* dengan perangkat TV 3D display. Interaksi museum virtual diterapkan pada server PC yang bertugas untuk mengolah data dari sensor pengindra tangan dan kemudian ditampilkan pada TV 3D. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua pola tangan yang dirancang untuk memicu interaksi pada museum virtual dapat dilakukan oleh partisipan. Telah dilakukan pengujian berupa kuisioner terhadap 40 orang responden, terdapat sebanyak 32.50% responden belum mengetahui tentang teknologi museum virtual dan sebanyak 37.50% sudah mengetahui tentang teknologi museum virtual. Hasil yang sama juga pada pengetahuan tentang teknologi pengindra tangan Leap Motion, sebanyak 32.50% responden belum mengetahui tentang teknologi pengindra tangan Leap Motion dan 30.00% responden sudah mengetahui tentang teknologi pengindra tangan Leap Motion. Sebanyak 62.50% responden sangat setuju bahwa interaksi tangan menggunakan sensor pengindra tangan Leap Motion memberi pengalaman baru dalam eksplorasi museum virtual dibandingkan dengan menggunakan *keyboard* dan *mouse*.

Kata Kunci : Museum Virtual, Leap Motion, *Stereoscopic 3D*, *side-by-side*.

ABSTRACT

Name : I Gede Aris Dharmayasa
Title : *Exploration of Prayer Tools in 3D Virtual Museum Using Leap Motion for Hand Motion Sensor*
Advisors : 1. Dr. Surya Sumpeno, ST., M.Sc.
2. Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT.

Nowadays, technology advances are able to deliver information in virtual form. Virtual Museum is designed to make it easier for people to learn about museums collections. Virtual Technology is applied on museum using 3D Stereoscopic Technology. This research aims to design and apply virtual museum interactions using Leap Motion Sensor. This museum is visualized with 3D Stereoscopic Side-by-Side Technique using a device called 3D TV Display. The interaction is applied through PC server that functioning to processing data from the sensor and later showed on the 3D TV. Results show that hand patterns which designed to trigger the interaction in virtual museum can be done by the participant, which are society. Through the distribution of questioners from 40 persons, 37.50% respondents said that they know about the virtual museum technology, and 32.50% said that they dont know about the virtual museum technology. From the same questioners, 30.00% respondents said that they know about Leap Motion Sensor, and 32.50% said that they dont know about Leap Motion Sensor. Then, 62.50% respondents are agree that hand interactions using Leap Motion Sensor is giving a new experience in virtual museum exploration compare to using keyboard and mouse.

Keywords : *Museum Virtual, Leap Motion, Stereoscopic 3D, side-by-side.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya lah, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **Eksplorasi Alat Persembahyangan pada Museum Virtual 3D**.

Penelitian ini disusun dalam rangka pemenuhan bidang riset di Departemen Teknik Komputer ITS, Bidang Studi Game Tech & Mobile Apps, serta digunakan sebagai persyaratan penyelesaian pendidikan S1. Penelitian ini dapat terselesaikan berkat beberapa pihak. Oleh Karena Itu, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Keluarga, Ibu, Bapak dan Saudara tercinta yang selalu memberikan semangat dan doa restunya dalam menyelesaikan buku ini.
2. Bapak Dr. Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Komputer, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan selaku Dosen Pembimbing Penulis.
3. Bapak Dr. Surya Sumpeno , S.T., M.Sc. atas bimbingan dan arahan selama pengerjaan penelitian.
4. Bapak-ibu dosen pengajar Departemen Teknik Komputer atas pengajaran, bimbingan dan perhatian yang diberikan kepada penulis selama ini.
5. Seluruh teman-teman asisten *B201-Crew* Laboratorium Bidang Studi Teknik Komputer dan Telematika.

Semoga penelitian ini dapat memberikan informasi dan bermanfaat untuk pengembangan teknologi dan peningkatan ilmu pengetahuan bagi kita semua.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

Abstrak	vi
Abstract	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan masalah	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Museum Virtual	5
2.2 <i>Photogrammetry</i>	5
2.3 <i>Structure-from-Motion</i>	6
2.4 <i>Image Matching</i>	8
2.5 <i>Leap Motion</i>	9
2.5.1 Cara Kerja <i>Leap Motion Controller</i>	11
2.5.2 <i>Gesture</i> Dasar <i>Leap Motion Controller</i>	12
2.5.3 <i>Leap Motion SDK</i>	13
2.6 <i>3D Stereoscopic Display</i>	15
3 DESAIN SISTEM DAN IMPLEMENTASI	19
3.1 Software dan Alat yang Digunakan	19
3.2 Gambaran Umum	20
3.3 Desain <i>Story Board</i>	21
3.4 Desain Museum Virtual	22
3.5 Koleksi Objek 3D Museum	23

3.6	Desain Sistem Interaksi	24
3.7	Desain Sistem Visualisasi	26
3.8	Alur Kerja	27
3.9	Implementasi Museum Virtual	27
3.10	Implementasi Sistem Interaksi	30
	3.10.1 Kalibrasi Leap Motion	31
	3.10.2 Algoritma <i>Person Raycast</i>	33
	3.10.3 Algoritma Seleksi	34
	3.10.4 Algoritma <i>Object as Child</i>	35
	3.10.5 Algoritma Eksplorasi	36
	3.10.6 Algoritma <i>Move Scene</i>	40
3.11	Implementasi Sistem Visualisasi	42
	3.11.1 Konfigurasi <i>Server</i> dan TV 3D <i>Display</i>	43
4	PENGUJIAN DAN ANALISIS	45
4.1	Pengujian Performasi Sistem	45
	4.1.1 <i>Benchmark</i>	45
	4.1.2 Pengujian <i>Occlusion Culling</i>	53
4.2	Pengujian Deteksi Pengindra Tangan	54
4.3	Pengujian Ketergunaan	59
	4.3.1 Pengujian Efektifitas	61
	4.3.2 Pengujian Kuisisioner	63
5	PENUTUP	67
5.1	Kesimpulan	67
5.2	Saran	68
	DAFTAR PUSTAKA	69
	LAMPIRAN	71
	Biografi Penulis	77

DAFTAR GAMBAR

2.1	Proses fotogrametri untuk mendapatkan pemodelan 3d dari sebuah citra[1].	6
2.2	Hasil citra yang diambil dari 3 sudut.	7
2.3	<i>Keypoint</i> pada sebuah citra.	7
2.4	<i>Scale-invariant feature transform</i> (SIFT) hasil dari <i>image matching</i> sebuah citra yang ditempatkan di berbagai posisi [2].	8
2.5	<i>Scale-invariant feature transform</i> (SIFT) hasil dari <i>image matching</i> sebuah citra yang ditempatkan di berbagai posisi[1].	9
2.6	Area Leap Motion berbentuk <i>hemispherical</i> [3].	10
2.7	Cara kerja <i>Leap Motion Controller</i>	11
2.8	Empat <i>gesture</i> dasar yang dikenali <i>Leap Motion Controller</i> [4].	12
2.9	Empat <i>gesture</i> dasar yang dikenali <i>Klasifikasi gesture berdasarkan Aigner, yaitu pointing, semarphoric, iconic, pantomimic dan manipulation</i> [5].	14
2.10	<i>Side-by-Side</i>	16
2.11	<i>Anaglyph</i> [6]	17
2.12	3D <i>Polarization</i> [7]	17
2.13	3D <i>Active Shutter</i> [6]	18
3.1	Gambaran umum interaksi dan visualisasi museum virtual.	20
3.2	Gambaran umum interaksi dan visualisasi museum virtual.	23
3.3	Alur sistem interaksi.	25
3.4	Diagram sistem visualisasi.	26
3.5	Objek-objek dimensi tiga yang dipamerkan.	28
3.6	<i>First Person Controller</i> pada museum virtual.	30
3.7	Panduan dan Interaksi.	30
3.8	<i>State Diagram</i> interaksi.	31
3.9	Kalibrasi Leap Motion.	32
3.10	<i>Flowchart</i> algoritma <i>Person Raycast</i>	33
3.11	Pola tangan untuk mengakses informasi.	34

3.12	<i>Flowchart</i> Algoritma Panel Informasi.	35
3.13	<i>Flowchart</i> Algoritma <i>object as child</i>	36
3.14	<i>Flowchart</i> algoritma perpindahan objek FPS pada sumbu Z.	37
3.15	Pergerakan maju dan mundur pada objek FPS.	38
3.16	<i>Flowchart</i> algoritma rotasi kamera.	39
3.17	Pola tangan untuk rotasi kamera pada objek FPS.	39
3.18	<i>Flowchart</i> algoritma perpindahan <i>scene</i>	40
3.19	<i>Scene</i> yang disajikan dalam museum virtual.	41
3.20	Konfigurasi <i>server</i> dan TV 3d <i>Display scene</i>	42
4.1	Pengujian performansi pada PC 1.	48
4.2	Pengujian performansi pada PC 2.	50
4.3	Pengujian performansi pada PC 3.	51
4.4	Pengujian performansi pada PC 3.	53
4.5	Perbedaan menggunakan <i>occlusion culling</i> dan tidak menggunakan <i>occlusion culling</i>	54
4.6	Variasi pola tangan.	56
1	Interaksi Koleksi Museum	71
2	Interaksi genggam pada koleksi museum Wadah Tirta.	72
3	Hasil pengujian performansi CPU dan GPU pada PC1	73
4	Hasil pengujian performansi CPU dan GPU pada PC2	74
5	Hasil pengujian performansi CPU dan GPU pada PC3	75
6	Hasil pengujian performansi CPU dan GPU pada PC4	76

DAFTAR TABEL

3.1	Detil informasi koleksi yang dipamerkan.	29
4.1	Spesifikasi <i>server</i> untuk pengujian performansi. . . .	46
4.2	Hasil pengujian performansi pada <i>server</i> PC 1 . . .	47
4.3	Hasil pengujian performansi pada <i>server</i> PC 2 . . .	49
4.4	Hasil pengujian performansi pada <i>server</i> PC 3 . . .	51
4.5	Hasil pengujian performansi pada <i>server</i> PC 4 . . .	52
4.6	Hasil pengujian performansi menggunakan <i>occlusion culling</i>	55
4.7	Hasil pengujian performansi tanpa <i>occlusion culling</i>	55
4.8	Hasil pengujian kemampuan deteksi pengindra tangan pada pola tangan dan interaksi.	58
4.9	Spesifikasi <i>server</i> yang digunakan.	59
4.10	Skenario pengujian.	60
4.11	Hasil Pengujian <i>Completion Rate</i> kategori dewasa.	62
4.12	Hasil Pengujian <i>Completion Rate</i> kategori anak-anak.	63
4.13	Daftar pernyataan dalam kuisioner.	65
4.14	Persentase respon partisipan terhadap pernyataan pada kuisioner.	66

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

Penelitian ini di latar belakang oleh berbagai kondisi yang menjadi acuan. Selain itu juga terdapat beberapa permasalahan yang akan dijawab sebagai luaran dari penelitian.

1.1 Latar belakang

Museum adalah lembaga, tempat penyimpanan, perawatan, pengamanan dan pemanfaatan bukti materil hasil budaya serta alam dan lingkunganya guna menunjang upaya perlindungan dan pelestarian kekayaan budaya bangsa. Museum bukan sekedar tempat untuk memamerkan benda-benda mati, tetapi dapat dimanfaatkan oleh masyarakat, pakar sejarah, guru dan siswa untuk menambah ilmu pengetahuan dan mendapatkan informasi dari peninggalan sejarah. Museum bertugas melaksanakan kegiatan penelitian itu sendiri serta menyebar luaskan hasil penelitian tersebut untuk pengembangan ilmu pengetahuan umumnya, sehingga museum menjadi tempat yang penting untuk dikunjungi.

Di zaman yang modern dan serba canggih ini, banyak hal yang sudah simulasikan dalam bentuk *virtual*. Eksplorasi disebut juga penjelajahan atau pencarian adalah tindakan mencari atau melakukan penjelajahan dengan tujuan menemukan sesuatu ataupun informasi, seperti misalnya menjelajahi daerah yang belum dikenal. Namun, kebudayaan secara konvensional kian hari kian terkikis, banyak yang enggan untuk melestarikan budaya tersebut mungkin salah satu alasannya adalah rasa malas atau kurangnya ketertarikan dari budaya tersebut. Kurangnya keterkaitan tersebut disebabkan oleh penyampaian yang monoton atau mungkin alasan lainnya.

Solusi dari permasalahan ini adalah membuat masyarakat antusias dengan menyampaikan informasi museum secara visual dengan *interface* yang menarik. Salah satu contohnya adalah *Virtual Museum* atau dalam Bahasa Indonesia diartikan museum virtual adalah sebuah museum yang dihadirkan dalam bentuk *digital (online)*. Dalam museum virtual kali ini menggunakan *open source engine* yaitu Unity 3D dan Leap motion SDK. Unity 3D adalah sebuah *game engine* yang berbasis *cross-platform*. Leap motion merupakan

hardware yang dapat digunakan untuk menggantikan fungsi *mouse* maupun *keyboard* karena Leap motion dapat membantu penggunaanya mengendalikan komputer hanya dengan gerakan tangan maupun jari di udara. Diharapkan dengan adanya aplikasi ini pengguna dapat menambah wawasan tentang budaya-budaya yang ada di Indonesia.

1.2 Permasalahan

Masyarakat Indonesia kurang begitu tertarik mengunjungi museum karena mereka kurang begitu peduli dengan budaya dan sejarah Indonesia. Masyarakat cenderung lebih suka bermain gadgetnya untuk mengisi waktu-waktu luang mereka. Oleh karena itu untuk menarik minat masyarakat untuk mengunjungi museum, perlu diterapkan teknologi tepat guna sehingga koleksi museum menjadi lebih informatif. Solusi yang dapat dikembangkan yaitu dengan memberikan informasi menggunakan teknologi virtual yaitu Virtual Museum.

1.3 Tujuan

Merancang aplikasi yang dapat memberikan informasi tentang benda-benda bersejarah yang ada pada museum untuk masyarakat pengguna gadget agar benda-benda di museum dapat lebih informatif dan dapat melakukan eksplorasi museum virtual dengan UI dimensi tiga menggunakan sensor pengindera tangan Leap Motion.

1.4 Batasan masalah

Untuk memfokuskan permasalahan yang akan diangkat maka dilakukan pembatasan masalah. Batasan-batasan masalah tersebut diantaranya adalah:

1. Materi yang akan digunakan dalam Eksplorasi Alat Persembahyangan Pada Museum Virtual 3D ini adalah kesamaan objek dan penjelasan yang ada pada Museum Mpu Tantular.
2. Objek-objek penelitian berupa alat persembahyangan umat Hindu yang ada pada museum Mpu Tantular.
3. Objek 3D dibuat dengan melakukan 3D *scan* pada objek langsung dengan tampilan *environment* yang sesuai dengan lokasi sebenarnya dari alat persembahyangan yang digunakan.

1.5 Sistematika Penulisan

Laporan penelitian tugas akhir ini tersusun dalam sistematika dan terstruktur sehingga lebih mudah dipahami dan dipelajari oleh pembaca maupun seorang yang hendak melanjutkan penelitian ini. Alur sistematika penulisan laporan penelitian ini yaitu:

1. BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi uraian tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, sistematika laporan dan relevansi.

2. BAB II Dasar Teori

Pada bab ini berisi tentang uraian sistematis teori-teori yang berhubungan dengan penelitian ini. Teori-teori tersebut digunakan sebagai dasar dalam penelitian. Beberapa diantaranya adalah informasi terkait *device* Leap Motion, teori *Photogrammetry*, *3D modeling* dan teori-teori penunjang lainnya.

3. BAB III Perancangan Sistem dan Implementasi

Bab ini berisi tentang penjelasan-penjelasan terkait eksperimen yang akan dilakukan dan langkah-langkah data diolah hingga menghasilkan visualisasi. Guna mendukung itu digunakanlah blok diagram atau *work flow* agar sistem yang akan dibuat dapat terlihat dan mudah dibaca untuk implementasi pada pelaksanaan tugas akhir.

4. BAB IV Pengujian dan Analisa

Bab ini menjelaskan tentang pengujian eksperimen yang dilakukan terhadap data dan analisisnya. Beberapa teknik visualisasi akan ditunjukkan hasilnya pada bab ini dan dilakukan analisa terhadap hasil visualisasi dan informasi yang didapat dari hasil mengamati visualisasi yang tersaji.

5. BAB V Penutup

Bab ini merupakan penutup yang berisi kesimpulan yang diambil dari penelitian dan pengujian yang telah dilakukan. Saran dan kritik yang membangun untuk pengembangan lebih lanjut juga dituliskan pada bab ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Demi mendukung penelitian ini, dibutuhkan beberapa teori penunjang sebagai bahan acuan dan referensi. Pada bagian ini, teori penunjang tersebut dijabarkan secara ringkas untuk menjadi dasar pemaaman dalam menyelesaikan penelitian.

2.1 Museum Virtual

Museum menurut *International Council of Museums (ICOM)* adalah sebuah lembaga yang bersifat tetap, tidak mencari keuntungan, melayani masyarakat dan perkembangannya, terbuka untuk umum, memperoleh, merawat, menghubungkan, dan memamerkan artefak-artefak perihal jati diri manusia dan lingkungannya untuk tujuan studi, pendidikan, dan rekreasi. Museum menurut Peraturan Pemerintah No. 19 Tahun 1995 Pasal 1 ayat (1) adalah lembaga, tempat penyimpanan, perawatan, pengamanan, dan pemanfaatan benda-benda buktimateriil hasil budaya manusia serta alam dan lingkungannya guna menunjang upaya perlindungan dan pelestarian kekayaan budaya bangsa [8].

Komputer dapat membuat lingkungan simulasi dimensi tiga (3D) yang dapat berinteraksi layaknya lingkungan asli (nyata) menggunakan peralatan elektronik tertentu. Lingkungan simulasi 3D ini disebut sebagai *virtual reality* (VR). Jika sebuah lingkungan simulasi dikondisikan layaknya sebuah museum maka akan menjadi sebuah museum virtual. Museum virtual diartikan sebagai sumber informasi dari media penyimpanan yang memiliki bentuk yang ditetapkan dan kemampuan menyampaikan informasi yang dimilikinya dengan berbagai macam cara.

2.2 Photogrammetry

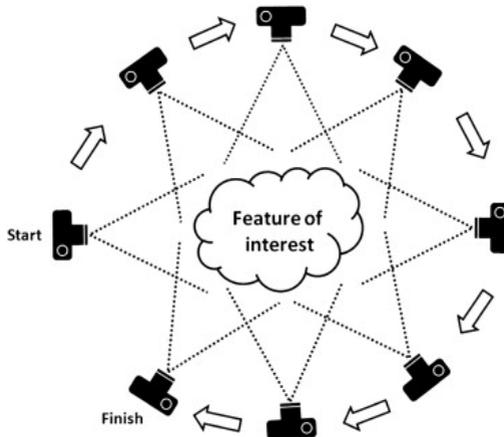
Teknik *photogrammetry* adalah salah satu teknik yang digunakan dalam memperoleh informasi yang akurat dari suatu permukaan citra tanpa ada kontak fisik antara citra yang diukur dan alat ukur. Pada umumnya *photogrammetry* digunakan untuk proses rekonstruksi citra dimensi tiga ke dalam format *digital*, baik dalam industri manufaktur maupun dalam industri konstruksi.

Alur kerja dari *photogrammetry* diawali pada tahap akuisisi

data, yakni memperoleh informasi akurat mengenai suatu citra. Dalam teknik *photogrammetry* dilakukan kalibrasi kamera agar didapatkan informasi dari citra yang akan digunakan. Kalibrasi kamera dilakukan dengan menggunakan kamera smartphone atau kamera digital lainnya untuk mendapatkan pengukuran secara *photogrammetry*.

2.3 *Structure-from-Motion*

Structure from motion adalah teknik pencitraan fotogrametri untuk memperkirakan struktur dimensi tiga dari urutan gambar dua dimensi. Menggunakan citra yang sama sebagai pusat perhatiannya dengan beberapa perbedaan, seperti sudut ambil citra dan waktu pengambilan citra.



Gambar 2.1: Proses fotogrametri untuk mendapatkan pemodelan 3d dari sebuah citra[1].

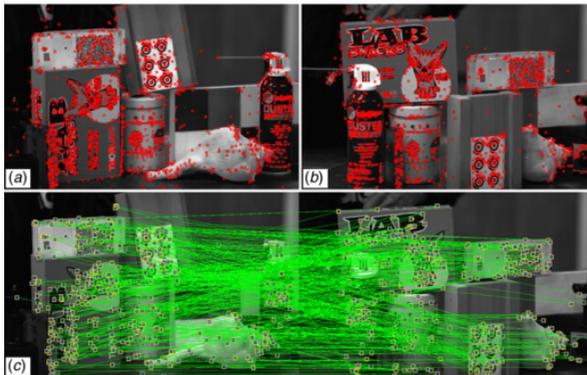
Seperti dijelaskan pada Gambar 2.1, SFM mengambil dua citra yang memiliki korespondensi *keypoint* terbesar sebagai inisiasi. SFM menggunakan *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT) yang digunakan untuk memperoleh *keypoint* dan *descriptor* dari setiap citra. *Scale Invariant Feature Transform* adalah sebuah algoritma dalam visi komputer yang digunakan untuk mendeteksi dan menjelaskan setiap fitur yang ada dalam gambar. *Keypoint* citra dari SIFT diambil dari sebuah referensi gambar dan kemudian hasil

padat. Pada Gambar 2.2 dapat dilihat sample beberapa gambar yang telah diambil dari citra nyata dan direkonstruksi menggunakan *software* visual-FSM.

Pada gambar 2.3 terlihat himpunan *keypoint* yang menghasilkan bentuk dimensi tiga berupa *point cloud*. Pada contoh tersebut terdapat 44 gambar yang direkonstruksi menjadi satu citra dengan himpunan *keypoint*.

2.4 Image Matching

Image matching adalah aspek mendasar dari sekian banyak masalah dalam visi komputer, termasuk rekonstruksi citra 3D dari *multiple image*, korespondensi stereo dan *motion tracking*. Fitur yang *invariant* adalah skala gambar dan rotasi gambar, beberapa *invariant* untuk perubahan pencahayaan dan sudut pandang kamera 3D.



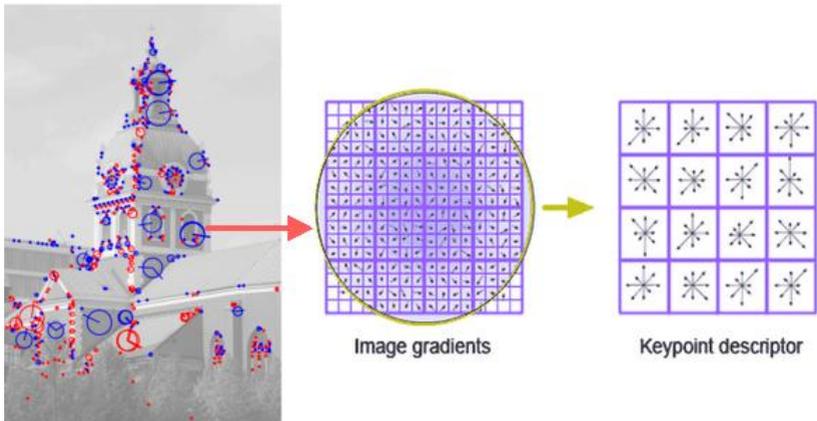
Gambar 2.4: *Scale-invariant feature transform*(SIFT) hasil dari *image matching* sebuah citra yang ditempatkan di berbagai posisi [2].

Sebagian besar fitur dapat diolah dengan algoritma yang efisien. Berikut adalah langkah-langkah komputasi untuk mengolah fitur-fitur gambar[9]:

1. ***Scale-space Extrema Detection:*** Tahap pertama dari komputasi ini adalah menentukan skala dan lokasi citra. Diimplementasikan secara efisien dengan menggunakan *Different-of-Gaussian* yang berfungsi untuk mengidentifikasi titik yang

sangat berpotensi untuk menjadi skala dan orientasi citra.

2. **Keypoint Localization:** Pada setiap lokasi atau citra yang akan digunakan, diperlukan model yang detail untuk menentukan lokasi dan skala. Seperti pada Gambar 2.4, *Keypoint* ditentukan berdasarkan ukuran yang paling stabil. Mengurangi titik yang memiliki nilai kontras rendah, dan mengurangi titik yang terlokalisasi dibagian tepi atau *edge*.
3. **Orientation assignment:** Sebuah orientasi atau banyak orientasi ditugaskan untuk setiap lokasi *keypoint* berdasarkan arah *gradient* gambar.
4. **Keypoint descriptor:** *Gradient* gambar diukur pada skala yang telah ditentukan di wilayah sekitar masing-masing *keypoint*. Seperti pada Gambar 2.5, *Keypoint descriptor* adalah cara untuk embandingkan *keypoint*. Mereka meringkas beberapa karakteristik tentang *keypoint* dalam format vektor.



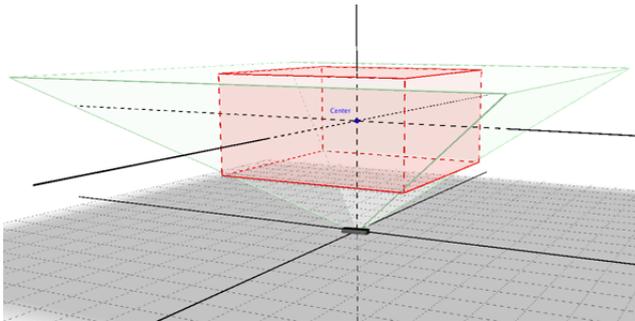
Gambar 2.5: *Scale-invariant feature transform*(SIFT) hasil dari *image matching* sebuah citra yang ditempatkan di berbagai posisi[1].

2.5 Leap Motion

Leap Motion merupakan alat tambahan yang dapat dihubungkan ke komputer dan kemudian dapat digunakan untuk menggan-

tikan fungsi *mouse* dan *keyboard* karena kemampuan *Leap Motion* yang dapat membantu penggunaanya mengendalikan komputer hanya dengan gerakan tangan maupun gerakan jari di udara. Berbeda dengan Kinect yang menghasilkan *depth map*, Leap motion hanya menghasilkan informasi yang terbatas dari tangan. Leap Motion memiliki zona interaksi yang lebih kecil namun memiliki akurasi yang tinggi. Leap Motion memungkinkan para developers tidak lagi memerlukan *image processing*. Developers Leap Motion cukup memanfaatkan informasi yang telah diolah dengan layanan Leap Motion[10]. Leap motion memiliki dimensi 80 x 30 x 11,25 mm dengan radius sudut lekukan sebesar 8 mm, dengan bobot 32 gram. Leap Motion memiliki area pandang sebesar 150 derajat dengan jarak 60 cm. Dapat dilihat pada gambar 2.6 area Leap Motion berbentuk *hemispherical* yang tampak seperti piramida terbalik dengan total area 0,266. m³

Leap Motion bekerja dengan tiga LED inframerah sebagai penerangan dengan panjang gelombang 850 nanometer, yang berada di luar spectrum cahaya tampak. Terdapat juga dua kamera monokrom yang terpisah 4 cm. *Leap Motion* memiliki *frame rate* pengambilan gambar sebesar 50 hingga 200 fps, tergantung koneksi USB yang digunakan.



Gambar 2.6: Area Leap Motion berbentuk *hemispherical*[3]

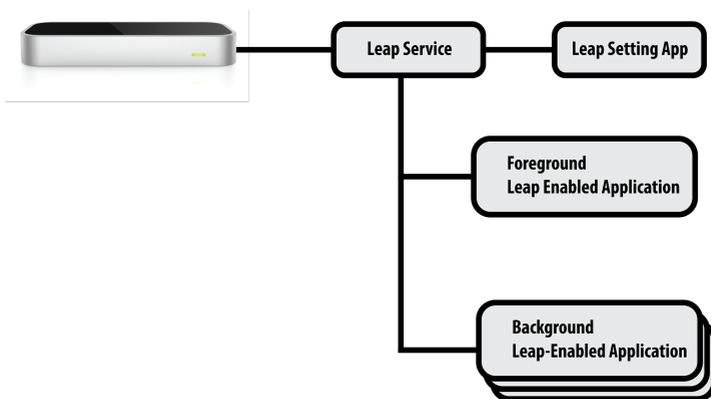
Leap Motion bekerja dengan membaca data sensor untuk disimpan ke memori lokal dan melakukan penyesuaian resolusi yang dibutuhkan. Data ini diteruskan via USB ke *Leap Motion tracking software*. Data berupa citra stereo *Grayscale*, terpisah antara citra

kiri dan kanan. Objek yang dapat tampak pada citra ini hanyalah objek yang terpapar cahaya dari LED Leap Motion. Namun, cahaya lampu bohlam, halogen dan cahaya matahari juga dapat terbaca oleh inframerah.

Data yang sudah terkirim ke komputer diolah oleh *Leap Motion Service* untuk mengkompensasi beberapa objek latar, seperti kepala dan pencahayaan sekitar. Setelah langkah ini, diperoleh representasi dimensi tiga dari apa yang Leap Motion lihat. Lalu pada *layer tracking* mencocokkan data untuk mendapatkan informasi seperti jari. Leap Motion memiliki algoritma *tracking* untuk menginterpretasikan data dimensi tiga dan posisi dari objek yang tampak. Teknik *filtering* diaplikasikan untuk memastikan data yang koheren. *Leap Motion Service* lalu meneruskan hasil berupa serangkaian *frame* atau *snapshot*, berisi seluruh data *tracking* ke *transport protocol*.

2.5.1 Cara Kerja *Leap Motion Controller*

Cara kerja Leap motion diawali dengan komunikasi antara perangkat lunak *Leap Service* yang telah terpasang di komputer dengan perangkat keras *Leap Motion Controller* melalui USB. Tangan deteksi dengan perangkat keras *Leap Motion Controller* kemudian datanya diolah dalam *Leap Service*. Kemudian *Leap Service* menyampaikan data penjejakan tangan tersebut kepada aplikasi *Leap-Enabled*[11].

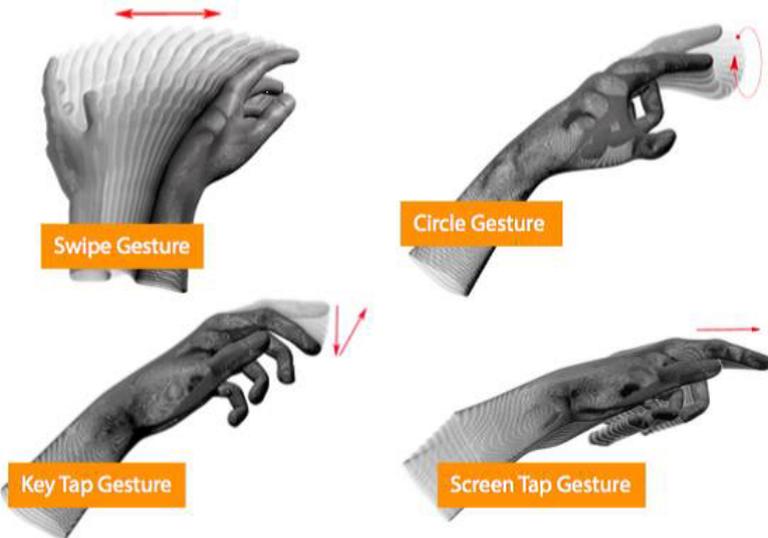


Gambar 2.7: Cara kerja *Leap Motion Controller*

Leap-Enabled inilah yang digunakan untuk memvisualisasikan data penjejakan tangan. Selain itu terdapat *Leap Setting App* yang digunakan untuk menentukan konfigurasi *Leap Motion Controller*. Cara tersebut dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.7.

2.5.2 *Gesture Dasar Leap Motion Controller*

Selain mendeteksi posisi tiap tulang pada jari tangan, *Leap Motion Controller* juga memiliki kemampuan untuk mengenali *gesture*. Dapat dilihat pada Gambar 2.8, *gesture* dasar yang dapat dikenali oleh *Leap Motion Controller* antara lain: *Swipe*, *Circle*, *Key Tap*, dan *Screen Tap*.



Gambar 2.8: Empat *gesture* dasar yang dikenali *Leap Motion Controller*[4].

Swipe gesture adalah pergerakan tangan seperti garis lurus dalam durasi yang singkat. *Swipe gesture* ini dibagi dalam empat macam, yaitu *swipe up*, *swipe down*, *swipe left* dan *swipe right*. Sedangkan *circle swipe* dilakukan dengan menggerakkan jari telunjuk seperti bentuk lingkaran. *Circle swipe* ini terdiri dari dua macam yaitu searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam. *Key tap*

gesture dilakukan dengan menggerakkan jari telunjuk ke bawah, sedangkan *screen tap gesture* dilakukan dengan menggerakkan jari telunjuk ke depan.

2.5.3 Leap Motion SDK

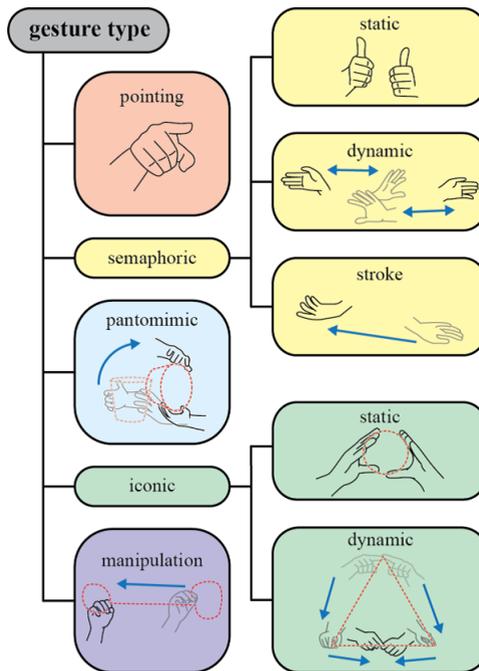
Kini Leap Motion mengembangkan SDK terbarunya, yakni Orion versi 3.1.3 dalam tahap Beta. Keempat *gesture* sebelumnya yang ada pada SDK versi 2.3.1, tidak lagi didukung oleh Orion SDK. Hilangnya *gesture* ini diimbangi dengan beberapa peningkatan performa, terutama dalam penggunaan Leap Motion dalam *head mounted VR*.

Pengembangan Orion SDK, mencoba mengurangi kelemahan Leap Motion yang utama, yaitu kesulitan Leap Motion dalam mengenali tangan yang tidak berada dalam *line-of-sight*. Hal tersebut dapat diakibatkan oleh tangan yang berada hampir diluar area interaksi, juga akibat posisi tangan yang tegak lurus terhadap sensor[12]. Meski kelemahan ini sudah dikurangi dengan adanya SDK terbaru, kedua praktik tersebut lebih baik dihindari dalam desain *gesture* pengguna.

Karena begitu banyak jenis *gesture* yang dapat didesain oleh pengembang, *gesture* dapat dikelompokkan ke dalam sebuah klasifikasi sederhana yang diusulkan oleh Aigner[5]. Pada Gambar 2.9, tampak bahwa *gesture* terbagi menjadi lima kelompok besar, yaitu *pointing*, *semaphoric*, *iconic*, *pantomimic* dan *manipulation*.

1. *Pointing*, digunakan untuk menunjuk suatu objek atau mengindikasikan arah. Tak hanya terpaku pada jari telunjuk, namun setiap jari ataupun beberapa jari sekaligus.
2. *Semaphoric*, satu kelompok klasifikasi yang terdiri dari *gesture* berupa postur statis dan dinamis yang digunakan untuk menyampaikan maksud tertentu. *Semaphoric* terdiri dari *gesture* statis, dinamis dan *stroke*. Perbedaan antara *semaphoric* dinamis dan *stroke* adalah kecepatan dalam melakukan *gesture* tersebut.
3. *Iconic*, digunakan untuk mendemonstrasikan bentuk, ukuran dan lekukan suatu objek atau entitas. *Iconic* terdiri dari *gesture* statis dan dinamis.

4. *Pantomimic*, digunakan untuk meniru perilaku atau aktifitas interaksi terhadap suatu objek tanpa objek yang dimaksud.
5. *Manipulation*, digunakan untuk mengubah posisi, rotasi dan skala dari suatu objek. *Gesture* manipulasi merupakan interaksi yang langsung antara objek yang dimanipulasi dan tangan yang melakukan *gesture*.



Gambar 2.9: Empat *gesture* dasar yang dikenali *Klasifikasi gesture* berdasarkan Aigner, yaitu *pointing*, *semaphoric*, *iconic*, *pantomimic* dan *manipulation*[5].

2.6 3D *Stereoscopic Display*

Stereoscopic adalah produksi *depth* atau kedalaman dari sebuah foto, film atau gambar dimensi dua lainnya dengan penyajian yang berbeda untuk kedua mata. *Stereoscopic* menciptakan ilusi kedalaman dimensi tiga yang diberikan oleh gambar dimensi dua. Mata menerima informasi visual yang berbeda akibat dari adanya perbedaan jarak antara mata yang disebut sebagai disparitas binokular. Dua gambar kemudian digabungkan di otak sehingga dapat memberikan persepsi kedalaman atau *depth* dari sebuah tampilan citra. Otak akan mampu mempersepsikan informasi kedalaman yang tampak selama disparitas antara kedua visi mata tidak melebihi batas tertentu.

Terdapat dua efek *stereoscopic* yang belum sempurna atau natural untuk pengelihatannya manusia:

1. Ketidaksihinggaan antara konvergensi dan akomodasi, yang disebabkan oleh perbedaan posisi antara objek yang di depan atau objek yang di belakang layar dan arah nyata dari sebuah cahaya.
2. Perbedaan informasi yang diterima antara mata, disebabkan oleh pemisahan gambar yang tidak sempurna dalam metode *stereoscopic*.

Meskipun istilah 3D telah digunakan di banyak tempat, penyajian gambar 2D ganda jelas dari sekedar menampilkan gambar dalam dimensi tiga penuh. Terdapat beberapa teknik *stereoscopic* yang mampu memanfaatkan cara kerja mata. Konsep sederhananya adalah memisahkan visi dimensi dua yang berbeda sudut pandang dari fokus yang sama untuk ditransmisikan ke setiap mata. Sehingga mata kiri hanya melihat visi yang diperuntukkan mata kiri dan mata kanan hanya melihat visi yang diperuntukkan mata kanan. Meski memiliki konsep yang sama, teknik *stereoscopic* yang ada sangat beragam.

Stereoscopic display terbagi menjadi dua kelompok. Kelompok pertama membutuhkan pengguna mengenakan perangkat khusus, biasanya menggunakan kacamata dengan sistem yang berbeda. Terdapat beberapa *stereoscopic display* yang saat ini populer digunakan yaitu:

1. ***Side-by-Side***. *Side-by-side* adalah penyajian sebuah gambar atau video yang dibagi menjadi dua bagian, pandangan kiri dan pandangan kanan seperti pada Gambar 2.10. Cara termudah untuk meningkatkan kedalaman gambar di otak adalah menyajikan dua gambar yang berbeda ke mata pengguna, yang mewakili dua perspektif dari objek yang sama dengan perspektif bahwa mata secara alami sedang dalam penglihatan binokular.



Gambar 2.10: *Side-by-Side*

Keuntungan dari *side-by-side* adalah minimnya penurunan kecerahan, memungkinkan penyajian gambar dalam resolusi yang tinggi dan dalam warna *spectrum* penuh, kesederhanaan dalam menciptakan dan sedikit atau hampir tidak ada pengolahan gambar yang perlu dilakukan. Kerugian dari *side-by-side* adalah terbatasnya resolusi yang disajikan oleh media *display* atau mata manusia.

2. ***Anaglyph***. *Anaglyph* adalah teknik dimana citra yang disajikan untuk mata kiri dan kanan dibedakan dengan menggunakan *filter* warna berbeda, biasanya menggunakan warna merah dan cyan seperti pada Gambar 2.11. Pengguna membutuhkan kacamata dengan *filter* yang sesuai untuk membagi citra yang ditampilkan. Teknik ini unggul pada biaya yang paling murah dengan kualitas visual yang kurang bagus.



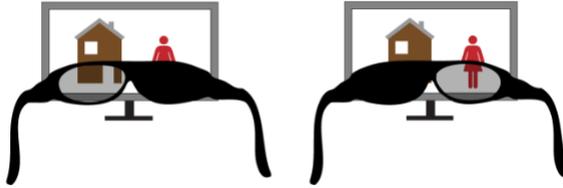
Gambar 2.11: *Anaglyph*[6]

3. ***Polarization.*** *Polarization* adalah teknik dimana *display* memancarkan dua jenis cahaya yang terpolarisasi untuk memisahkan transmisi citra untuk mata kanan dan mata kiri seperti pada Gambar 2.12. Pengguna membutuhkan kacamata dengan *filter* polarisasi untuk dapat membagi citra yang ditampilkan. Teknik ini paling banyak digunakan karena kualitas visual yang diperoleh cukup bagus dengan biaya yang relatif murah.



Gambar 2.12: 3D *Polarization*[7]

4. **Active Shutter.** *Active shutter* adalah teknik yang memisahkan transmisi citra berdasarkan waktu. Citra pada *display* ditampilkan secara bergiliran antara citra untuk mata kiri dan kanan. Agar mampu melakukan hal tersebut, *display* yang ada harus memiliki frekuensi visual yang tinggi.



Gambar 2.13: 3D *Active Shutter*[6]

Dapat dilihat pada Gambar 2.13, pengguna memerlukan kacamata aktif yang tersinkronisasi dengan *display* untuk memperoleh citra yang sesuai pada setiap mata. Meski teknik ini memiliki kualitas visual yang paling bagus, biaya yang dibutuhkan sangat tinggi[[6].

BAB 3

DESAIN SISTEM DAN IMPLEMENTASI

Penelitian ini dilaksanakan sesuai dengan desain sistem berikut dengan implementasinya. Desain sistem merupakan konsep dari pembuatan dan perancangan infrastruktur dan kemudian diwujudkan dalam bentuk blok-blok alur yang harus dikerjakan. Pada bagian implementasi merupakan pelaksanaan teknis untuk setiap blok pada desain sistem.

3.1 Software dan Alat yang Digunakan

Pada penelitian ini, diperlukan perangkat-perangkat yang digunakan untuk melakukan rekonstruksi objek museum, perangkat keras sensor pengindra tangan dan perangkat untuk implementasi dari museum virtual ini. Terdapat tiga tahapan dalam pembuatan museum virtual ini, Berikut adalah penjelasan tahapan dan perangkat-perangkat yang digunakan dalam pembuatan museum virtual:

1. **Pemodelan Objek 3D.** Pada tahapan ini digunakan teknik *Photogrametry* untuk mendapatkan pemodelan 3D dari objek museum, teknik *Photogrametry* akan dijelaskan pada subbab berikutnya. Dalam teknik *Photogrametry* ini diperlukan beberapa perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat-perangkat yang digunakan yaitu sebagai berikut:
 - (a) Mini Studio (Perangkat keras)
 - (b) Kamera Digital (Perangkat keras)
 - (c) VisualSFM (Perangkat lunak)
 - (d) MeshLab (Perangkat lunak)
 - (e) Blender (Perangkat lunak)
 - (f) Autodesk Remake (Perangkat lunak)
2. **Rekonstruksi *Environment* Museum Virtual.** Dalam pembuatan ruang lingkup museum virtual ini, digunakan perangkat lunak sebagai berikut:
 - (a) Blender

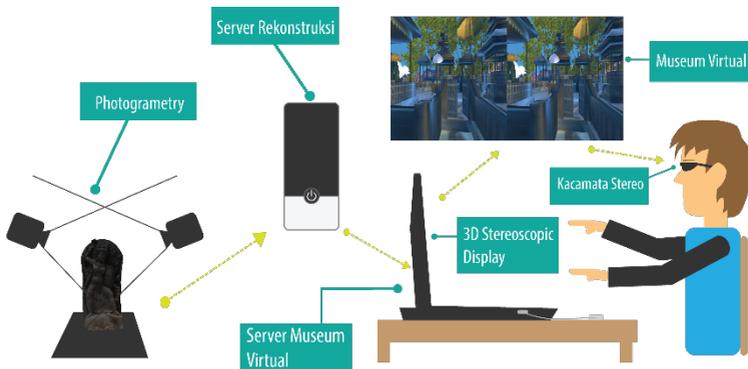
- (b) Google Sketchup
- (c) Unity

Blender dan GoogleSketchup digunakan untuk rekonstruksi *environment* museum virtual seperti lingkungan Pura, kemudian hasil-hasil rekonstruksi pada Blender dan GoogleSketchup disatukan menjadi sebuah lingkungan museum virtual di Unity.

- 3. **Implementasi.** Pada tahapan implementasi, digunakan perangkat keras yang berfungsi sebagai perangkat pengindra tangan pada museum virtual. Perangkat keras yang digunakan adalah sensor pengindra tangan Leap Motion. Sensor pengindra tangan ini berfungsi sebagai fitur interaksi dan eksplorasi dalam museum virtual ini.

3.2 Gambaran Umum

Penelitian ini memiliki tujuan merancang dan menerapkan interaksi dengan pengindra tangan pada museum virtual yang menggunakan *stereoscopic 3D display*. Sistem museum virtual ini dijalankan dengan mengkombinasikan beberapa perangkat keras yaitu *server*, Leap Motion dan *3D monitor display* seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Gambaran umum interaksi dan visualisasi museum virtual.

Pada desain ini pengguna dapat melakukan eksplorasi di depan layar hanya dengan menggunakan Leap Motion. Perangkat Leap Motion diletakkan diatas meja didepan layar 3D *display*. Leap Motion diletakkan diatas meja dengan arah sensor infrared kearah atas atau horizontal untuk mendapatkan data dari fitur tangan pengguna. Leap Motion meneruskan data tersebut pada *server* agar dapat diolah dan diperoleh posisi fitur tangan pada koordinat dunia. Data yang telah diproses oleh *server* dimuat pada museum virtual untuk memungkinkan pengguna melakukan interaksi. *Server* juga mengolah data secara stereo dan melakukan transmisi hasil *render* ke *display*.

3.3 Desain *Story Board*

Pada museum virtual ini, selain menyajikan koleksi-koleksi museum berupa alat-alat persembahyangan agama Hindu, museum virtual ini juga menyajikan urutan dari penggunaan alat-alat persembahyangan tersebut. Pada bagian ini dijelaskan tentang *storyboard* yang digunakan pada museum virtual ini. *Storyboard* adalah sketsa gambar yang dibuat sesuai dengan skenario. Berikut adalah urutan *storyboard* dari museum virtual ini:

1. Tampilan awal aplikasi museum virtual, pada bagian ini pengguna baru mulai menjalankan aplikasi museum virtual. Terdapat *user interface* berupa *icon tap to play* yang memberikan panduan kepada pengguna untuk masuk ke dalam museum virtual.
2. Setelah masuk ke dalam museum virtual, pengguna dapat melakukan interaksi dan eksplorasi. Pada museum virtual ini digunakan lingkungan Pura sebagai dekorasi dari museum virtual.
3. Alur pertama pada saat di Pura adalah pengguna melakukan eksplorasi pada sarana persembahyangan seperti Pejati, Genta dan Wadah Tirta.
4. Eksplorasi sarana persembahyangan pertama adalah pengguna menuju ke meja Pejati, kemudian mengikuti panduan *tap to see information*, maka pengguna akan berpindah ke ruangan khusus untuk Pejati. Jika pengguna sudah selesai eksplo-

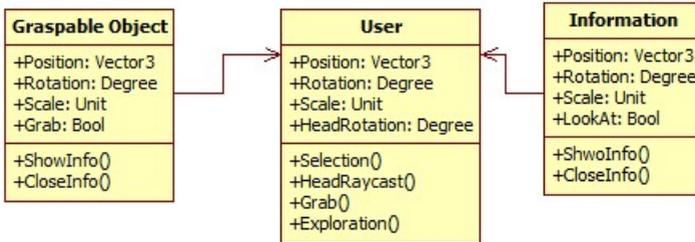
rasi objek Pejati, pengguna dapat mengikuti panduan untuk kembali ke *scene* utama yaitu di Pura.

5. Alur selanjutnya pengguna menuju meja Genta, kemudian mengikuti panduan *tap to see information*, maka pengguna akan berpindah ke ruangan khusus untuk Genta. Jika pengguna sudah selesai eksplorasi objek Genta, pengguna dapat mengikuti panduan untuk kembali ke *scene* utama yaitu di Pura.
6. Alur selanjutnya pengguna menuju meja Wadah Tirta, kemudian mengikuti panduan *tap to see information*, maka pengguna akan berpindah ke ruangan khusus untuk Wadah Tirta. Jika pengguna sudah selesai eksplorasi objek Wadah Tirta, pengguna dapat mengikuti panduan untuk kembali ke *scene* utama yaitu di Pura.
7. Setelah selesai eksplorasi sarana persembahyangan, selanjutnya pengguna melakukan eksplorasi pada arca-arca yang disediakan pada museum virtual. Penyampaian objek arca tidak menggunakan ruangan khusus seperti objek sarana persembahyangan.
8. Eksplorasi arca pertama adalah Arca Dewi durga, pengguna melakukan eksplorasi objek Arca Durga dengan mengikuti panduan akses informasi dengan cara tap informasi menggunakan tangan kanan.
9. Eksplorasi objek arca kedua adalah Arca Dewa Siwa, pengguna melakukan eksplorasi objek Arca Siwa dengan mengikuti panduan akses informasi dengan cara tap informasi tangan kanan.

3.4 Desain Museum Virtual

Museum virtual ini tidak disajikan sesuai dengan museum virtual pada dunia nyata. Namun, beberapa koleksi yang ditampilkan adalah hasil dari rekonstruksi dimensi tiga dari objek nyata yang menyajikan koleksi museum nyata.

Objek museum pada museum virtual ini disajikan dengan menggunakan fitur interaksi tangan yang ada pada museum virtual. Pada



Gambar 3.2: Gambaran umum interaksi dan visualisasi museum virtual.

Gambar 3.2, dijelaskan relasi antara pengguna dan koleksi berdasarkan interaksi tangan yang dapat dilakukan. Koleksi diklasifikasikan ke dalam dua kelas, kelas pertama adalah kelas *Information*, dimana pengguna dapat melakukan interaksi mendasar yaitu menampilkan informasi. Kelas kedua adalah *Graspable*, dimana objek dapat dimanipulasi secara posisi. Objek kelas *Graspable* adalah objek yang dapat berinteraksi dengan posisi telapak tangan. Objek yang tidak termasuk dalam kedua kelas tersebut adalah objek bukan koleksi yang difungsikan sebagai desain *environment*. Objek *environment* tidak dapat diinteraksikan dengan menggunakan interaksi tangan.

3.5 Koleksi Objek 3D Museum

Pada pengambilan objek 3D museum, objek yang disajikan pada museum virtual ini berupa alat-alat persembahyangan dan arca-arca Hindu yang terdapat di museum Mpu Tantular. Rekonstruksi objek 3D ini menggunakan *software* VisualSFM, MeshLab dan Autodesk Remake. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. *Photogrametry*, dalam langkah ini dilakukan pengambilan informasi dari objek nyata. Informasi-informasi ini berupa permukaan objek yang difoto melingkari objek.
2. Rekonstruksi objek 3D, langkah selanjutnya adalah rekonstruksi objek 3D. Pada langkah ini digunakan *engine* VisualSFM,

VisualSFM melakukan rekonstruksi dimensi tiga dengan mengetahui posisi koordinat objek dari keypoint yang memiliki korespondensi pada beberapa citra dengan sudut berbeda. Pada proses ini akan menghasilkan output berupa point cloud dari masing-masing permukaan objek.

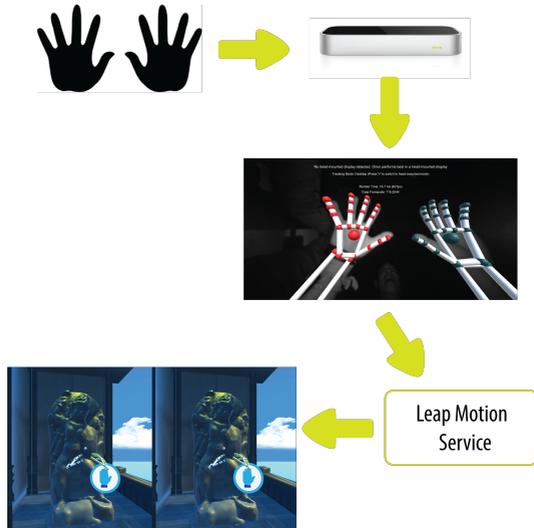
3. *Alignment*, pada langkah ini masing-masing data permukaan akan digabungkan berdasarkan *keypoint* dengan menggunakan algoritma SFM (*Structure from Motion*).
4. *Noise Removal*, pada bagian ini dilakukan pada *engine* Meshlab yang berfungsi untuk menghilangkan *noise* atau *point cloud* yang bukan bagian dari model secara manual.
5. *Meshing*, selanjutnya pada Meshlab rekonstruksi permukaan model dilakukan dengan menyisipkan poligon pada *point cloud*.
6. *Filling Hole*, penutupan lubang dilakukan secara manual dengan penambahan poligon pada area dimana terdapat lubang pada permukaan model.
7. *Texture Mapping*, pencahayaan yang kurang merata saat *scanning* dan proses *filling hole* menyebabkan *texture* tidak akurat. Pengambilan dilakukan di ruangan dimana memiliki intensitas pencahayaan sama pada setiap sisi objek. *Texture* model yang diambil adalah bagian sisi kanan, kiri, depan dan belakang model.

3.6 Desain Sistem Interaksi

Pada sistem interaksi di museum virtual ini menggunakan Leap Motion sebagai *input* dari pengindera tangan. Pengindera Leap Motion mengirimkan citra *grayscale* untuk diproses oleh Leap Motion Service. Kemudian data yang telah diolah oleh Leap Motion Service diakses dengan menggunakan Orion SDK.

Data diambil dari Leap Motion Service dengan memanggil fungsi untuk memilah informasi dari tiap *frame* yang telah diproses. Pada Gambar 3.3 dapat dilihat alur dari sistem interaksi pada

museum virtual ini. Berikut ini adalah penjabaran fungsi yang digunakan untuk pengambilan data dan penjelasan singkat tentang fungsi-fungsi tersebut:



Gambar 3.3: Alur sistem interaksi.

1. *isRight*, mengembalikan nilai *true* jika tangan yang terdeteksi dalam satu *frame* adalah tangan kanan.
2. *isleft*, mengembalikan nilai *true* jika tangan yang berinteraksi dalam satu *frame* adalah tangan kiri.
3. *handRaycast*, mengembalikan nilai *true* kepada panel info jika *raycast* tangan kanan mengenai *icon* info selama 2 detik. Fungsi ini juga memberi perintah pindah *scene* dari *scene main menu* ke *main scene* ketika *raycast* tangan kanan menyentuh tombol selama 2 detik dan juga memberi perintah pindah *scene* dari *main scene* ke *object scene*.
4. *leftRaycast*, mengembalikan nilai *false* kepada panel info jika *raycast* tangan kiri mengenai panel info selama 2 detik. Fungsi ini juga berfungsi untuk memberi perintah pindah *scene* dari

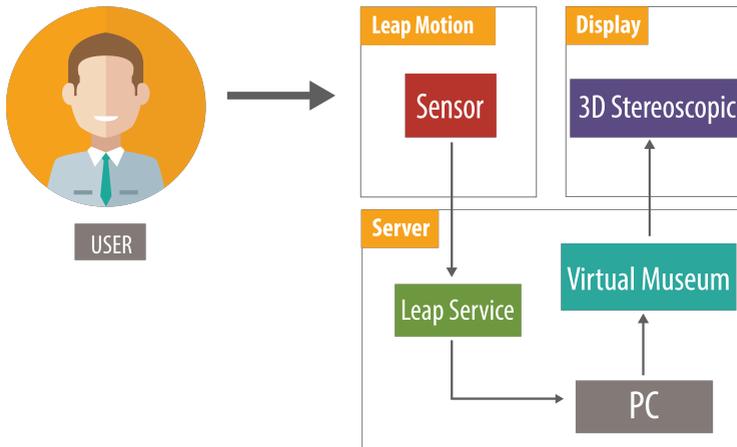
object scene kembali ke *main scene* ketika *raycast* tangan kiri menyentuh tombol kembali pada *object scene*.

5. *PalmPosition*, posisi telapak tangan dalam koordinat dimensi tiga di museum virtual.
6. *CameraRaycast*, mengembalikan nilai *true isWalking* jika *raycast* kamera menyentuh tombol jejak selama 1,5 detik.

Data yang diperoleh dengan memanggil fungsi yang telah disiapkan oleh Leap Motion Service, dimanfaatkan dalam penyusunan algoritma interaksi tangan.

3.7 Desain Sistem Visualisasi

Pada umumnya monitor layar datar yang digunakan tidak dapat menampilkan objek dengan persepsi kedalaman atau bentuk 3D yang lebih nyata. Hal ini dapat diatasi dengan memanfaatkan *stereoscopic 3D*. Dalam penelitian ini digunakan *stereoscopic side-by-side*. Teknik ini membagi layar menjadi dua bagian yaitu kanan dan kiri yang nantinya akan dikonversi menjadi satu layar pada TV *stereoscopic 3D*.



Gambar 3.4: Diagram sistem visualisasi.

Pada Gambar 3.4 dapat dilihat langkah-langkah dari sistem visualisasi museum virtual ini. Langkah pertama yang dilakukan

pada sistem visualisasi *stereoscopic* adalah proses *rendering* pada *server*. *Server* mengolah tampilan pada museum virtual dengan teknik *side-by-side*. Kemudian *server* mengambil seluruh tampilan visual pada monitor untuk ditransmisikan ke TV 3D *stereoscopic display* menggunakan PC.

3.8 Alur Kerja

Ada beberapa tahap dalam pengerjaan penelitian ini. Tahapan dari penelitian ini adalah:

1. Desain skenario. Pada museum virtual ini dijelaskan langkah-langkah penggunaan dari alat-alat persembahyangan yang dipamerkan pada museum Mpu Tantular.
2. Pengambilan model 3D. Museum virtual membutuhkan koleksi objek 3D yang dapat dipamerkan. Maka dari itu, pada tahap ini dilakukan pengumpulan objek 3D. Koleksi yang dipamerkan berasal dari dua sumber, yaitu penelitian lain dan rekonstruksi dimensi tiga dengan *photogrametry*.
3. Pembuatan museum virtual. Koleksi objek 3D yang sudah dikumpulkan disusun dan diletakkan pada *environment* yang sebenarnya yaitu di Pura.
4. Implementasi sistem interaksi. Interaksi diterapkan pada tiap koleksi objek 3D berupa alat persembahyangan yang dipamerkan pada museum virtual.
5. Implementasi sistem visualisasi. Pada tahap ini, diterapkan *stereoscopic* 3D dengan proses *rendering* yang dilakukan di *server* dan penyajian *side-by-side* pada TV 3D.
6. Evaluasi. Interaksi dan visualisasi yang diterapkan dievaluasi dengan pengujian untuk mengukur hasil penelitian dengan tujuan yang direncanakan.

3.9 Implementasi Museum Virtual

Museum virtual dibangun menggunakan *engine* Unity 3D 5.5.0f. Objek-objek museum virtual berupa alat-alat persembahyangan diambil menggunakan teknik *photogrametry*, sedangkan *assets* la-

innya seperti dekorasi dan *environment* museum virtual diperoleh dari Google Sketchup dan *standard assets* Unity.

Pada gambar 3.5, terdapat terdapat seluruh objek 3D yang dipamerkan dalam museum virtual, yakni Pejati, Genta, Wadah Tirta, Arca Durga dan Arca Siwa. Tabel 3.1 menjabarkan jumlah *vertex* dan *face* dari setiap objek 3D. Museum virtual ini memberikan fasilitas kepada pengguna berupa panduan yang dapat membantu pengguna untuk berpindah tempat, berpindah *scene* dan juga berinteraksi dengan objek dimensi tiga. Untuk berpindah tempat seperti maju kedepan, pengguna dapat mengarahkan kamera ke arah tombol jejak kaki. Setiap objek museum terdapat tombol panduan yang berisikan tetang informasi-informasi tentang objek tersebut.



(a) Pejati



(b) Genta



(c) Wadah Tirta



(d) Arca Dewi Durga



(e) Arca Dewa Siwa

Gambar 3.5: Objek-objek dimensi tiga yang dipamerkan.

Pada museum virtual pengguna dapat melakukan eksplorasi lingkungan dari museum ini. Untuk itu disediakan objek *First Person Controller* sebagai *player* yang dapat melakukan eksplorasi

Tabel 3.1: Detil informasi koleksi yang dipamerkan.

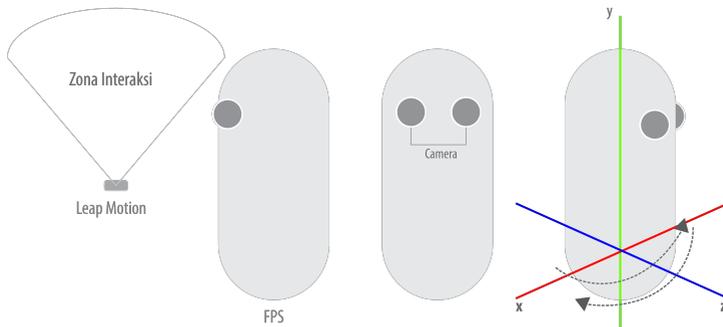
Nama Objek	Jumlah Vertex	Jumlah Face	Sumber
Pejati	66.303	132.522	Rekonstruksi dengan VisualFSM dan Meshlab
Genta	398.356	796.428	Rekonstruksi dengan VisualFSM dan MeshLab
Wadah Tirta	45.599	91.047	Rekonstruksi dengan VisualFSM dan Meshlab
Arca Dewi Durga	22.256	44.508	Autodesk Remake
Arca Dewa Siwa	23.574	46.828	Penelitian lain

dalam museum virtual ini. *First Person Controller* adalah objek perantara yang dikendalikan oleh pengguna dalam melakukan eksplorasi museum virtual.

Pada objek FPS, posisi kamera diletakkan sesuai dengan posisi mata manusia yaitu dikepala dan menggunakan teknik 3D *stereoscopic* yaitu layar dibagi menjadi dua bagian kanan dan kiri. Citra yang diambil oleh kamera stereo ditampilkan pada monitor *server* melalui proses *rendering*.

Pada Gambar 3.6 dapat dilihat desain dari *First Person Controller* pada museum virtual. Kamera FPS dipasangkan *raycast* yang berfungsi untuk memberi perintah kepada objek FPS untuk berjalan kedepan ketika *raycast* kamera menyentuh tombol jejak kaki. Hal ini bertujuan untuk menyajikan fasilitas kepada pengguna agar mendapat spot yang nyaman untuk melakukan interaksi ataupun eksplorasi lingkungan museum virtual.

Objek FPS ini memiliki zona interaksi Leap Motion yang ikut bertranslasi dengan objek FPS. Zona Leap Motion diatur dengan posisi sensor Leap Motion berada diatas meja didepan Layar 3D *stereoscopic*. Sehingga pengguna dapat menikmati penyajian museum



Gambar 3.6: *First Person Controller* pada museum virtual.

virtual dalam layar TV.

3.10 Implementasi Sistem Interaksi

Pada museum virtual ini terdapat beberapa interaksi yang dapat dilakukan pengguna seperti, seleksi, inspeksi, membuka informasi, menutup informasi dan eksplorasi.



(a) Contoh tombol panduan jalan



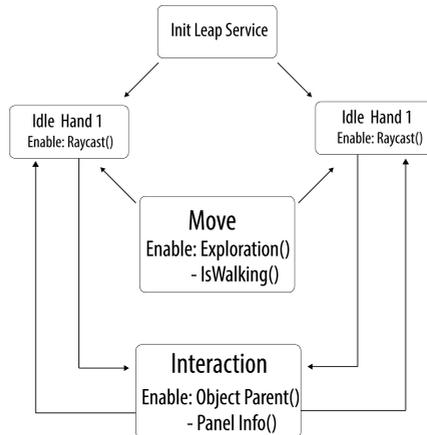
(b) Contoh tombol bantuan informasi dan panduan interaksi

Gambar 3.7: Panduan dan Interaksi.

Pada Gambar 3.7 terdapat dua buah tombol berfungsi seba-

gai panduan jalan dan panduan informasi dari suatu objek. Pada tombol jejak, pengguna dapat mengarahkan kamera kearah tombol untuk mengaktifkan tombol. Tombol ini disajikan untuk melakukan eksplorasi terhadap lingkungan museum virtual, sedangkan untuk tombol tap tangan kanan, berfungsi untuk mengaktifkan panel informasi dari objek dan juga sebagai *parent* dari objek mini yang disediakan pada setiap Arca. Tombol ini juga berfungsi untuk mengaktifkan *scene* lain. Dalam penelitian ini, pengindra tangan menggunakan Leap Motion dengan Orion SDK.

Pada Gambar 3.8 dijelaskan tentang *state diagram* dari sistem interaksi pada museum virtual. Langkah pertama yaitu inisialisasi Leap Service yaitu mendeteksi antara tangan kanan dan tangan kiri dalam museum virtual.



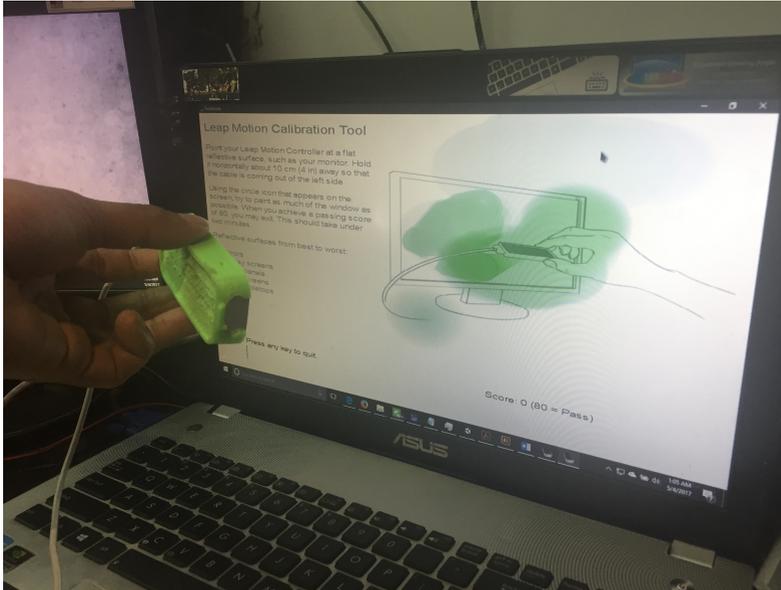
Gambar 3.8: *State Diagram* interaksi.

Selanjutnya *moving FPS*, pengguna dapat eksplorasi lingkungan museum virtual dengan tombol jejak maupun gesture tangan. *Gesture* tangan dijelaskan pada bagian algoritma eksplorasi. Dengan eksplorasi menggunakan *gesture* tangan, pengguna dapat melakukan eksplorasi dengan bebas.

3.10.1 Kalibrasi Leap Motion

Sebelum menggunakan sensor pengindra tangan, perlu dilakukan proses kalibrasi pada perangkat Leap Motion. Hal ini dila-

kukan agar sensor pengindera tangan dapat bekerja dengan stabil dan akurat. Kalibrasi dilakukan dengan memanfaatkan Leap Motion Service.



Gambar 3.9: Kalibrasi Leap Motion.

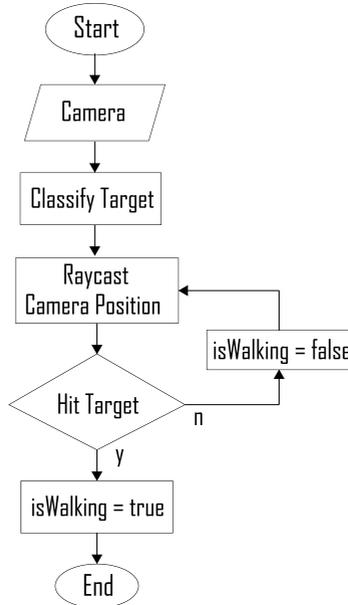
Proses kalibrasi Leap Motion dilakukan dengan menghadapkan permukaan perangkat Leap Motion ke hadapan layar monitor. Leap Motion diposisikan pada titik tengah permukaan kalibrasi dengan jarak 10 cm dari permukaan kalibrasi. Leap Motion kemudian dihadapkan ke seluruh permukaan kalibrasi tanpa merubah posisi awal. Leap Motion Service akan menampilkan umpan balik berupa warna hijau pada monitor seperti pada Gambar 3.9. Proses kalibrasi diteruskan hingga mencapai nilai 80 untuk menjamin penginderaan yang stabil dan akurat.

Kalibrasi Leap Motion ini juga berfungsi untuk mengatasi masalah gangguan pada sensor *infrared* pada perangkat Leap Motion. Pada Leap Motion Control Panel terdapat status dari perangkat Leap Motion yang menunjukkan kondisi *Service Status*, *Device Status*,

Calibration Status dan lain-lainnya.

3.10.2 Algoritma *Person Raycast*

Pada museum virtual ini, pengguna dapat eksplorasi tempat dengan *raycast* kamera pada tombol-tombol jejak kaki yang sudah disediakan pada museum virtual.



Gambar 3.10: *Flowchart* algoritma *Person Raycast*.

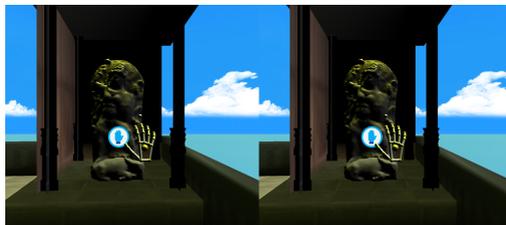
Pada Gambar 3.10 dijelaskan tentang *flowchart* dari algoritma *Person Raycast*. *Raycasting* adalah cara untuk melakukan pengecekan dengan menggunakan suatu garis lurus yang tidak terlihat untuk mendapatkan objek apa saja yang ada di depan dan dimana-kah titik *collison* yang mengenai *Ray*.

Raycast ini dipasangkan pada kamera *First Person Controller* dengan panjang *raycast* 8 unit atau dalam satuan nyata adalah 8 meter. *Raycast* bertugas untuk mendeteksi tombol jejak, jika *raycast* kamera menyentuh tombol jejak selama 2 detik, maka *raycast* akan memberikan nilai *true* kepada *First Person Controller* untuk

fungsi `isWalking`. Jika `raycast` kamera tidak menyentuh tombol jejak, maka fungsi `isWalking` bernilai `false`.

3.10.3 Algoritma Seleksi

Pada museum virtual ini terdapat informasi-informasi yang disajikan pada tiap-tiap koleksi museum. Untuk menampilkan informasi dari satu objek, pengguna harus melakukan seleksi dalam durasi tertentu. Setelah durasi waktu terlampaui, maka panel informasi akan disajikan untuk pengguna. Pada Gambar 3.11 ditampilkan pola tangan untuk menampilkan panel informasi pada koleksi museum.



(a) Pola tangan akses informasi.

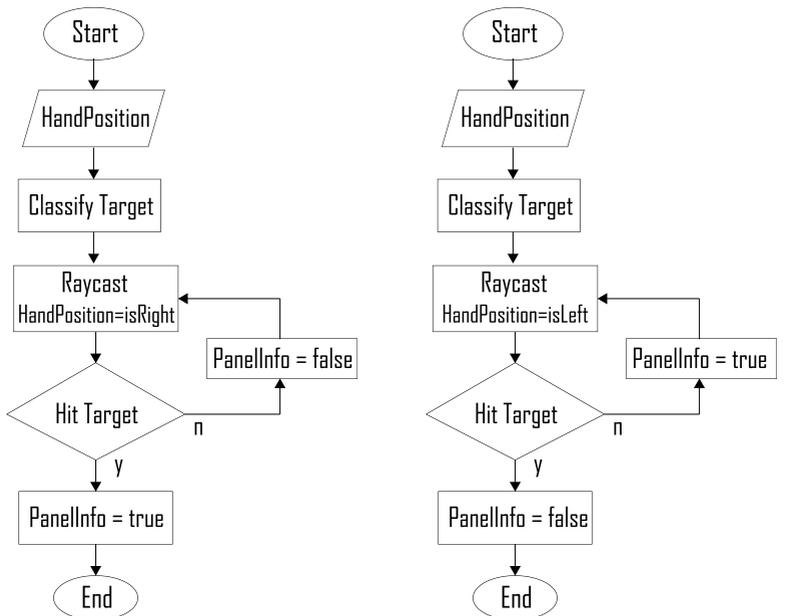


(b) *Object as child*

Gambar 3.11: Pola tangan untuk mengakses informasi.

Pada algoritma panel informasi seperti pada Gambar 3.12, sensor penginderaan tangan mendeteksi posisi tangan kanan dan tangan kiri pengguna. Jika posisi tangan yang terdeteksi adalah tangan kanan, maka `raycast` tangan kanan akan diaktifkan. Jika `raycast` menyentuh objek dengan `class` info dengan durasi waktu 2 detik, maka `raycast` akan memberikan nilai `true` pada panel info dan informasi dari koleksi disajikan kepada pengguna.

Untuk menutup panel informasi, pada algoritma tutup informasi sensor pengindra tangan akan mendeteksi tangan kiri dan *raycast* tangan kiri diaktifkan. Jika *raycast* tangan kiri menyentuh objek dengan *class* *PanelInfo* dengan durasi waktu 2 detik, maka *raycast* akan memberi nilai *false* pada panel informasi dan panel informasi ditutup.



(a) *Flowchart* Algoritma menampilkkan informasi

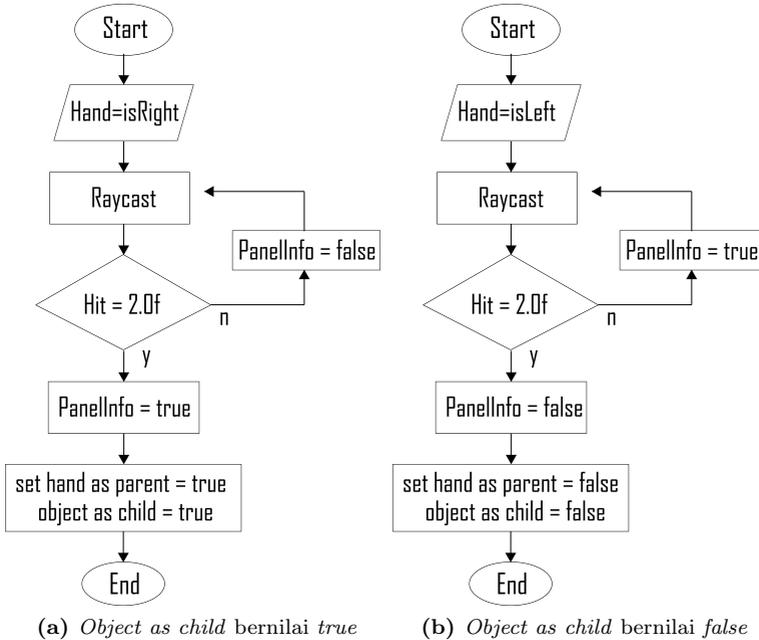
(b) *Flowchart* Algoritma menutup informasi

Gambar 3.12: *Flowchart* Algoritma Panel Informasi.

3.10.4 Algoritma *Object as Child*

Pada bagian ini, pengguna dapat melakukan eksplorasi dengan jelas di telapak tangan pengguna. Algoritma ini dimulai dengan deteksi tangan kanan oleh sensor Leap Motion. Kemudian *raycast* tangan kanan diaktifkan, jika *raycast* menyentuh tombol info dan memberi nilai *true* pada panel info, maka *object as child* akan berni-

lai *true*, dan menampilkan objek dimensi tiga pada telapak tangan pengguna. *Parent* dari objek ini adalah telapak tangan kanan dalam museum virtual.

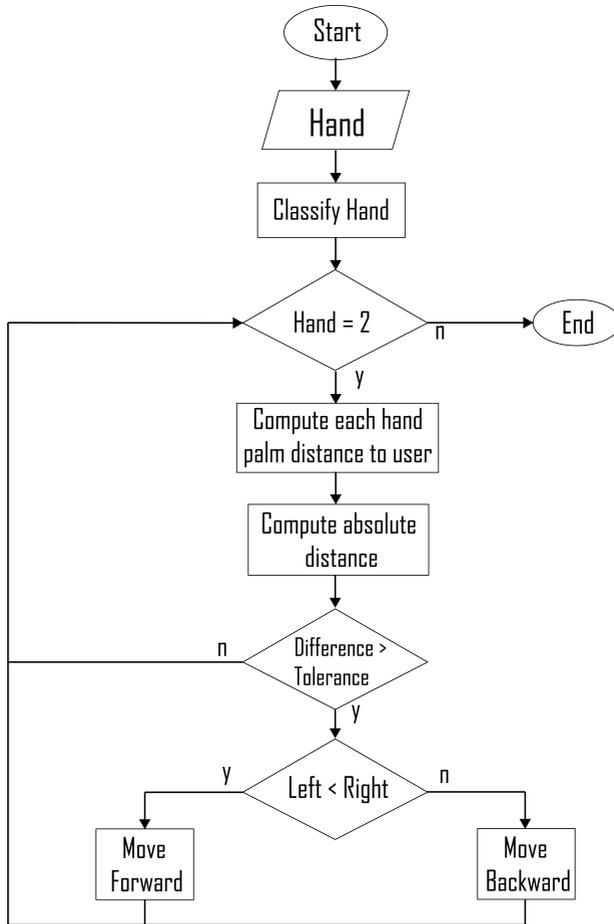


Gambar 3.13: *Flowchart* Algoritma *object as child*.

Pada Gambar 3.13 dijelaskan tentang algoritma *object as child* yang bernilai *true* dan *false*. *Object as child* akan bernilai *false* apabila *raycast* dari tangan kanan menyentuh objek dengan *class* panel info selama 2 detik maka *raycast* tangan kiri akan memberi nilai *false* pada *object as child*.

3.10.5 Algoritma Eksplorasi

Dalam eksplorasi pada museum virtual, *gesture* tangan dapat digunakan untuk memanipulasi gerakan kamera pada museum virtual seperti rotasi kamera terhadap sumbu X, translasi positif pada sumbu Z dan translasi negatif pada sumbu Z.



Gambar 3.14: *Flowchart* algoritma perpindahan objek FPS pada sumbu Z.

Untuk melakukan pergerakan maju dan mundur dibutuhkan kedua tangan untuk berada di zona interaksi Leap Motion. Pada Gambar 3.14 dijelaskan algoritma pergerakan maju dan mundur dari objek FPS. Kedua tangan dikenali dipilah terlebih dahulu antara tangan kanan dan tangan kiri. Jika tangan tidak terdeteksi atau

tidak dalam posisi genggam maka algoritma tidak akan berfungsi. Jika kedua kondisi tersebut terpenuhi, jarak kedua tangan terhadap pengguna diperhitungkan untuk mendapat nilai absolut dari selisih posisinya. Jika absolut selisih kedua posisi tangan melebihi nilai toleransi, maka gerakan maju dan mundur akan terpicu.



(a) Pola tangan untuk maju.

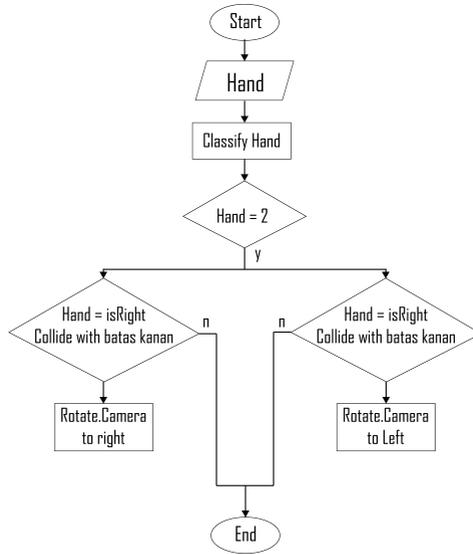
(b) Pola tangan untuk mundur.

Gambar 3.15: Pergerakan maju dan mundur pada objek FPS.

Pada penelitian ini, pengguna dapat melakukan eksplorasi secara bebas dengan *gesture* pengindera tangan dengan menentukan posisi tangan kanan dan tangan kiri. Untuk menentukan objek FPS untuk maju dan mundur, digunakan jarak toleransi untuk memicu pergerakan tangan adalah absolut dengan selisih sebesar 10 cm.

Seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.15, untuk melakukan pergerakan maju, posisi tangan kiri lebih dekat pada pengguna daripada tangan kanan. Sedangkan pergerakan mundur ketika posisi tangan kanan lebih dekat pada pengguna daripada tangan kiri.

Untuk melakukan rotasi terhadap sumbu X, kamera membutuhkan konfigurasi tambahan pada zona interaksi Leap Motion. Konfigurasi dilakukan dengan menambahkan dua buah pembatas disebelah kanan dan kiri zona interaksi Leap Motion seperti pada Gambar 3.17. Pada Gambar 3.16 dijelaskan tentang *flowchart* dari algoritma rotasi kamera pada *First Person Controller*. Alur algoritma tersebut adalah, jika tangan kanan terdeteksi oleh sensor Leap Motion dan menyentuh *collider* batas kanan, maka kamera akan ro-



Gambar 3.16: *Flowchart* algoritma rotasi kamera.

tasi kearah kanan. Jika tangan kiri terdeteksi oleh oleh sensor Leap Motion dan *collider* batas kiri, maka kamera akan rotasi kearah kiri.



(a) Pola tangan untuk rotasi ke kiri.

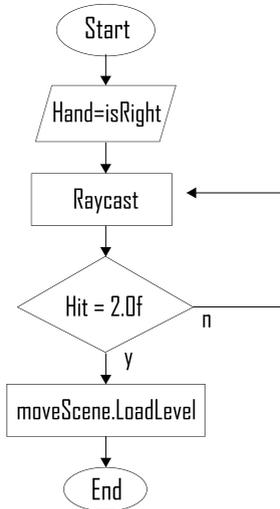


(b) Pola tangan untuk rotasi ke kanan.

Gambar 3.17: Pola tangan untuk rotasi kamera pada objek FPS.

3.10.6 Algoritma *Move Scene*

Pada museum virtual ini, disajikan ruang lingkup khusus untuk koleksi alat-alat persembahyangan. Maka dari itu, disediakan algoritma perpindahan *scene* agar pengguna dapat berpindah *scene* dan eksplorasi koleksi dalam ruang khusus.



Gambar 3.18: *Flowchart* algoritma perpindahan *scene*.

Pada Gambar 3.18 dijelaskan tentang *flowchart* dari algoritma perpindahan tiap *scene* pada museum virtual ini. Algoritma ini dimulai dengan deteksi tangan kanan pada sensor Leap Motion, kemudian *raycast* tangan kanan diaktifkan. Jika *raycast* tangan kanan menyentuh tombol dengan durasi 2 detik, maka *scene* akan berpindah. Pada penelitian ini disediakan 5 buah *scene* seperti pada gambar 3.19 yang berisikan *Main Menu*, *Main Scene*, *Scene Pejati*, *Scene Genta* dan *Scene Wadah Tirta*. Penjelasan tiap-tiap *scene* yaitu sebagai berikut:

1. *Scene main menu*, *scene* ini merupakan tampilan awal dari aplikasi museum virtual ini. Pengguna dapat mengikuti panduan yang sudah disediakan untuk masuk ke *scene* selanjutnya.



(a) Main Menu



(b) Main Scene



(c) Scene Pejati



(d) Scene Genta



(e) Scene Wadah Tirta

Gambar 3.19: Scene yang disajikan dalam museum virtual.

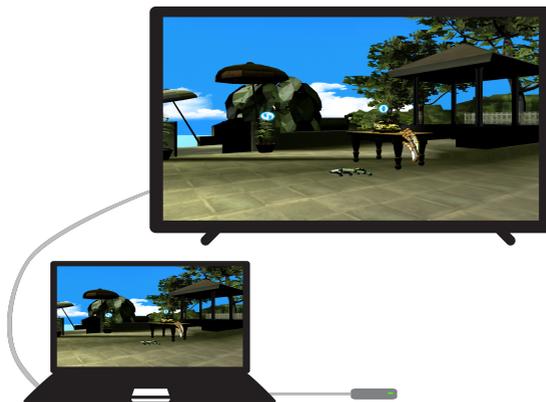
2. *Main scene*, scene ini merupakan tempat dimana pengguna dapat melakukan eksplorasi ruang lingkup dari museum virtual ini. Pada *main scene* ini terdapat 3 urutan *scene* yang ditunjukkan untuk menyampaikan alur penggunaan koleksi alat-alat persembahyangan seperti Pejati, Genta dan wadah Tirta.
3. *Scene Pejati*, pengguna dapat masuk ke *scene* Pejati setelah melakukan akses tombol Pejati pada *Main Scene*. Pada scene ini disajikan objek sarana persembahyangan berupa Pejati beserta informasinya. Pejati merupakan sarana persembahyangan berupa rangkaian janur dan buah-buahan yang dipersembahkan untuk Dewa dalam ajaran agama Hindu.
4. *Scene Genta*, pengguna dapat masuk ke *scene* Genta setelah melakukan akses tombol Genta pada *Main Scene*. Pada scene ini disajikan objek sarana persembahyangan berupa Pejati beserta informasinya. Genta merupakan sarana persembahyangan

an yang digunakan untuk mengiringi doa-doa dalam upacara agama Hindu.

5. *Scene* Wadah Tirta, pengguna dapat masuk ke *scene* Wadah Tirta setelah melakukan akses tombol Wadah Tirta pada *Main Scene*. Pada *scene* ini disajikan objek sarana persembahyangan berupa Wadah Tirta beserta informasinya. Wadah Tirta merupakan tempat air suci yang disebut tirta dalam persembahyangan agama Hindu.

3.11 Implementasi Sistem Visualisasi

Sistem visualisasi terdiri dari beberapa perangkat keras pendukung. Pada Gambar 3.20, terdapat ilustrasi sistem visualisasi dari museum virtual ini. Sistem memiliki *server* yang berfungsi sebagai *host* museum virtual yang dieksplorasi oleh pengguna. Secara bersamaan *server* melakukan komputasi untuk melakukan *render* berupa mengolah data penginderaan. *Server* juga melakukan *rendering* museum virtual untuk ditampilkan dengan *stereoscopic display side-by-side*. Pada penelitian ini, TV 3D *display* berfungsi untuk menampilkan hasil dari *render* pada *server*.



Gambar 3.20: Konfigurasi *server* dan TV 3d *Display scene*.

3.11.1 Konfigurasi *Server* dan TV 3D *Display*

Pada penelitian ini, museum virtual ditampilkan pada TV 3D display dengan menggunakan teknologi *stereoscopic side-by-side*. TV 3D ini terhubung pada *server* PC dan sensor pengindra tangan Leap Motion. Fungsi dari TV 3D ini hanya untuk menampilkan hasil render museum virtual dari *server* dan sensor pengindra tangan. Tujuan dari penggunaan TV 3D ini adalah menambah sensasi ke-dalaman dari museum virtual ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada penelitian ini, terdapat beberapa pengujian yang dilakukan. Pengujian yang pertama adalah pengujian performansi sistem, dimana kinerja museum virtual diukur pada beberapa *server* dengan spesifikasi yang berbeda. Pengujian kedua adalah pengujian *occlusion culling*, dimana pengujian ini dilakukan pada vertex yang di *render* oleh kamera *First Person Controller*. Pengujian ketiga adalah pengujian pendeteksi pengindra tangan. Pada pengujian ini kemampuan baca pengindra tangan diukur dengan melakukan serangkaian pola tangan untuk memicu interaksi pada fitur-fitur yang disediakan museum virtual. Pengujian keempat adalah pengujian melalui kuisioner, dimana sistem pengujian ini melibatkan partisipan yang diminta untuk melakukan interaksi pada museum virtual.

4.1 Pengujian Performansi Sistem

Pada pengujian performansi, sistem diuji pada beberapa *server* dengan daya komputasi yang berbeda. Hal ini dilakukan untuk mengetahui performansi sistem bila dijalankan pada *server* yang berbeda. Pada penelitian ini digunakan tiga buah *server* yang memiliki spesifikasi berbeda-beda untuk melakukan pengujian performansi.

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan spesifikasi pada tiap *server*. Pada Tabel tersebut PC 1 memiliki spesifikasi yang paling tinggi dibandingkan *server* yang lainnya.

Untuk *server* PC 2 memiliki spesifikasi yang lebih tinggi dibandingkan PC 3 dan PC 4. Sistem dapat berjalan dalam kondisi ideal pada *server* PC 1 dan PC 2, sedangkan pada PC 3 terkadang tidak ideal dan pada PC 4 sistem berjalan dengan tidak ideal. Perbedaan spesifikasi ini dapat mempengaruhi proses *rendering* pada sistem museum virtual. Kedua server tersebut dipilih sebagai kondisi yang tidak ideal untuk menjalankan sistem.

4.1.1 *Benchmark*

Dengan perbedaan spesifikasi tersebut, keempat *server* memiliki daya komputasi yang berbeda-beda. Agar daya komputasi keempat *server* dapat dibandingkan, perlu dilakukan proses *benchmark* terlebih dahulu.

Tabel 4.1: Spesifikasi *server* untuk pengujian performansi.

Spesifikasi	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
<i>Processor</i>	Intel(R) i7-3770 @ 3.50 GHz	Intel(R) I7-4790 @ 3.60GHz	Intel(R) i7-3630 @ 2.40 GHz	Intel(R) i3-3110 @ 2.40 GHz
RAM	16 GB	12 GB	8 GB	4 GB
GPU	AMD Radeon R9 200/7900 Series GDDR5 3GB	NVIDIA GeForce GTX 745	NVIDIA GeForce GT 650	NVIDIA GeForce GT 610
HDD	2 TB @ 720 Rpm	1 TB	1 TB	200 GB
Sistem Operasi	Windows 10 Pro 64 Bit	Windows 10 Pro 64 Bit	Windows 10 Home	Windows 8.1 Home 64 Bit
Konektivitas	USB 3	USB 3	USB 3	USB 2

Dalam bidang komputasi, *benchmark* adalah proses pengukuran dan evaluasi kemampuan komputasi suatu perangkat. *Benchmark* dirancang untuk meniru suatu beban kerja pada komponen atau sistem. Pada penelitian ini, *benchmark* yang diterapkan adalah menguji kemampuan *processor* dan kartu grafis. Kemampuan *processor* diuji dengan memanfaatkan *processor* untuk melakukan *rendering* pada lingkungan museum virtual. Sedangkan kemampuan kartu grafis diuji dengan memanfaatkan kartu grafis untuk melakukan *rendering* sebuah animasi.

Pengujian dilakukan dengan menjalankan sistem dalam sebuah skenario. Skenario yang digunakan adalah skenario interaksi eksplorasi, interaksi eksplorasi yang dimaksud adalah pergerakan *First Person Character* untuk maju dan mundur, serta rotasi kamera terhadap *First Person Character* untuk ke kiri dan ke kanan. Skenario ini diterapkan karena mencakup perubahan terhadap posisi agen dalam keadaan diam dan bergerak.

pengujian dilakukan sebanyak 10 kali iterasi pada tiap *server* dengan skenario yang sama. Skenario pengujian idawali dengan menggerakkan agen untuk maju dan mundur. Kemudian dilanjutkan dengan interaksi pada rotasi kamera *First Person Character*.

Pengujian Perfomansi pada *Server* PC 1

Hasil pengujian dengan melakukan skenario interaksi eksplorasi pada *server* PC 1 dapat dilihat pada Tabel 4.2. *Server* PC 1 merupakan *server* yang memiliki daya paling tinggi untuk menjalankan museum virtual.

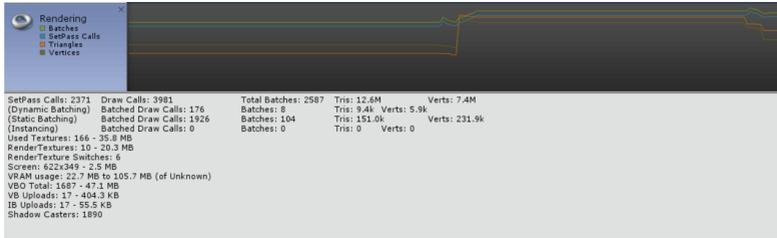
Tabel 4.2: Hasil pengujian performansi pada *server* PC 1

Iterasi	<i>Vertex</i>			<i>Frame rate</i> (fps)		
	Maks.	Min.	<i>Mean</i>	Maks.	Min.	<i>Mean</i>
1	263.4k	234k	248.7k	666,7	400	533,35
2	263.4k	239.5k	251.4k	588,2	400	494,1
3	224.8k	210.1k	217.4k	833,4	151,5	492,4
4	443.6k	239.5k	341.5k	625	384,5	504,8
5	440.1k	410k	425.05k	555,6	370,3	462,9
6	439k	224.7k	331.85k	526,3	384.6	455,4
7	7.2m	250k	3.72m	526,3	238,1	382,2
8	10.8m	5.5m	8.15m	666,7	400	533,35
9	3.1m	2.4m	2.75	476,2	181,8	329
10	7.8m	11.8m	9.8m	400	80	240

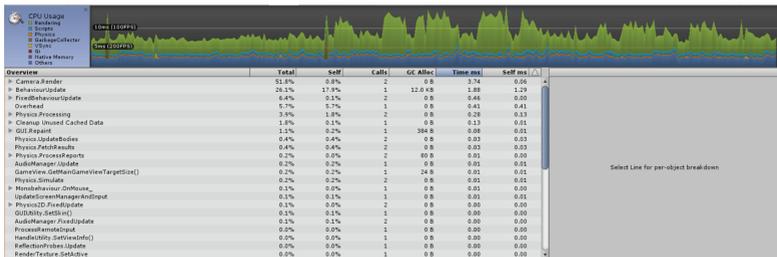
Seperti yang dijelaskan sebelumnya, skenario pengujian dibagi menjadi dua yaitu pergerakan maju mundur *First Person Character* dan rotasi terhadap kamera *First Person Character*.

Dapat dilihat pada gambar 4.1a, pengujian sistem server PC 1 pada saat memulai museum virtual *First Person Character* belum berada didaerah koleksi, jumlah *vertex* yang diperoleh kurang dari 5.000.000 *vertex* pada setiap *frame*. Namun pada saat *First Person Character* sampai pada tempat koleksi, jumlah *vertex* meningkat drastis hingga 7.200.000. Perubahan jumlah tersebut disebabkan karena jumlah *vertex* dari objek koleksi dan dekorasi sekitar.

Pada gambar 4.1b, dilihat bahwa terdapat perubahan *frame*



(a) Jumlah *vertex* yang diperoleh tiap detik.



(b) Perolehan *frame rate* per detik.

Gambar 4.1: Pengujian performansi pada PC 1.

rate yang tidak stabil. Perubahan yang tidak stabil ini terjadi saat *First Person Character* berjalan menuju daerah koleksi dan dekorasi. Perubahan perolehan *frame rate* tidak terjadi saat *First Person Character* sampai pada tempat koleksi. Pergerakan *First Person Character* menuju tempat koleksi menyebabkan fluktuasi perolehan *frame rate*, hal ini diakibatkan oleh area yang perlu diproses pada setiap *frame* yang terbilang tinggi. Sehingga proses *render* membebani *server* dalam melakukan komputasi.

Pengujian Performansi pada *Server PC 2*

Pada Tabel 4.1, PC 2 memiliki spesifikasi tidak jauh berbeda dengan PC 1. Hasil pengujian sistem dengan melakukan skenario interaksi eksplorasi dapat dilihat pada Tabel 4.3.

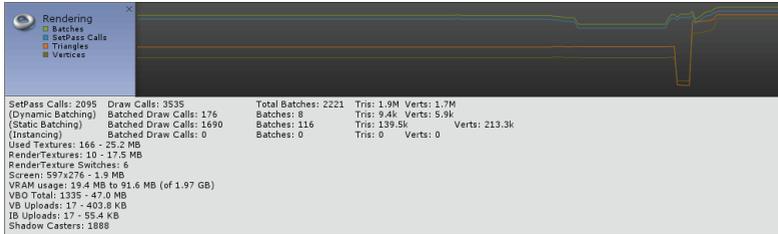
Sama seperti pengujian pada *server PC 1*, *vertex* yang ditangkap kurang dari 1.000.000 *vertex*. Namun saat *First Person Character* berjalan menuju tempat koleksi jumlah *vertex* meningkat drastis. Kemudian *frame rate* yang diperoleh fluktuatif. Hal ini

Tabel 4.3: Hasil pengujian performansi pada *server* PC 2

Iterasi	<i>Vertex</i>			<i>Frame rate (fps)</i>		
	Maks.	Min.	<i>Mean</i>	Maks.	Min.	<i>Mean</i>
1	855k	831.6k	843.3k	277,7	71,9	174,8
2	831.6k	808.1k	819.8k	384,6	270,2	327,4
3	855.2k	808.1k	831.2k	322,5	9,8	166,1
4	853.8k	806.6k	830.2k	333,3	9,8	171,5
5	996.1k	607.8k	801.9k	357,1	200	278,5
6	8.2m	739.1k	4.4m	294,1	55,2	174,6
7	8.6m	8.3m	8.45m	294,1	22,5	158,3
8	12.5m	8.3m	10.4m	181,8	36,1	108,9
9	12m	6.3m	9.5m	204,1	39,3	121,7
10	8.4m	511k	4.4m	169.4	40.3	104.8

dapat dibandingkan pada gambar 4.2.

Dapat dilihat pada Tabel 4.3, perolehan *frame rate* pada *server* PC 2 memiliki nilai paling tinggi 384,6 fps dan paling rendah 9,8 fps dari 10 iterasi pengujian. Hasil pengujian ini tidak jauh berbeda dengan hasil pengujian dari *server* PC 1, karena spesifikasi *server* PC 1 dan *server* PC 2 tidak banyak memiliki perbedaan hanya pada jumlah RAM pada *server* PC 2 lebih sedikit 2 GB.



(a) Jumlah *vertex* yang diperoleh tiap detik.



(b) Perolehan *frame rate* per detik.

Gambar 4.3: Pengujian performansi pada PC 3.

Tabel 4.4: Hasil pengujian performansi pada *server* PC 3

Iterasi	<i>Vertex</i>			<i>Frame rate (fps)</i>		
	Maks.	Min.	<i>Mean</i>	Maks.	Min.	<i>Mean</i>
1	1.4m	317.5k	858.5k	416,7	65,7	241,2
2	1.4m	272.4k	835.5k	384,6	45,04	214,82
3	2m	305.3k	1.15m	263,1	46,9	115
4	5.8m	2m	3.9m	270,2	39,6	154,9
5	12.7m	2m	7.35m	140,8	22,8	163,6
6	12.3m	2.4m	7.35m	166,7	19,4	93,05
7	6.3m	1.3m	3.8m	250	49,7	149,8
8	11.2m	6.7m	8.95m	322,5	45,05	183,7
9	10.2m	4.0m	7.1m	357,1	40,6	198,85
10	1.7m	1,4m	1.55m	322,5	55,8	378,3

Pengujian Performansi pada *Server* PC 4

Dilihat dari Tabel 4.1 bahwa *server* PC 4 memiliki spesifikasi yang paling rendah dibandingkan *server* PC 1, *server* PC 2 dan *server* PC 3. Sama seperti pengujian pada *server* sebelumnya, *vertex* yang ditangkap kurang dari 1.000.000 *vertex*. Pada *server* PC 3 juga terjadi fluktuatif pada *frame rate*. Hal ini dapat dibandingkan pada gambar 4.4.

Dapat dilihat dari Tabel 4.5, perolehan *frame rate* pada *server* PC 4 memiliki nilai fps paling tinggi yaitu 169,4 fps dan nilai fps terendah yaitu 7,0 fps dari 10 iterasi pengujian. Hal ini sangat berbeda dengan *server* PC sebelumnya, ini dikarenakan daya komputasi PC yang jauh lebih rendah dibandingkan PC sebelumnya.

Tabel 4.5: Hasil pengujian performansi pada *server* PC 4

Iterasi	<i>Vertex</i>			<i>Frame rate</i> (fps)		
	Maks.	Min.	<i>Mean</i>	Maks.	Min.	<i>Mean</i>
1	1.2m	1.1m	1.15m	79,3	7,0	43,15
2	13.6m	1.1m	7.3m	156,2	11,1	83,65
3	14m	1.1m	7.6m	156,2	11,1	83,65
4	1.2m	1.1m	1.15m	169,4	12,9	91,15
5	1.8m	382.4k	1.09m	142,8	12,4	77,6
6	1.2m	1.1m	1.15m	144,9	9,0	76,9
7	1.2m	512.8k	856.4k	125	11	68
8	13.7m	57.1k	6.9m	100	20,7	60,35
9	17.9m	8.0m	12.9m	114,9	7,3	61,1
10	8m	3.8m	5.9m	147,1	7,6	77,35



(a) Tanpa *occlusion culling*



(b) Menggunakan *occlusion culling*.

Gambar 4.5: Perbedaan menggunakan *occlusion culling* dan tidak menggunakan *occlusion culling*.

Iterasi kelima dilakukan eksplorasi pada daerah koleksi museum virtual yaitu Pejati. Pada iterasi keenam dan ketujuh dilakukan eksplorasi pada *environment* museum virtual seperti pepohonan dan lautan. Selanjutnya pada iterasi kedelapan, kesembilan dan kesepuluh dilakukan eksplorasi pada ruang khusus masing-masing alat persembahyangan seperti ruang khusus Pejati, Genta dan Wadah Tirta.

Seperti pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7, dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan jumlah *vertex* yang di-render oleh CPU antara menggunakan *occlusion culling* dan tidak menggunakan *occlusion culling*. Namun, tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada jumlah fps yang didapatkan pada saat menjalankan aplikasi museum virtual. Hal ini disebabkan karena pada saat pertama menjalankan museum virtual, *occlusion culling* hanya melakukan *render* pada objek yang ditangkap oleh kamera, ini mempengaruhi nilai *vertex* yang di-render oleh CPU. Sedangkan saat tidak menggunakan *occlusion culling* semua objek atau *vertex* terdapat pada museum virtual di-render secara bersamaan.

4.2 Pengujian Deteksi Pengindera Tangan

Pada penelitian ini, digunakan perangkat pengindera tangan Leap Motion sebagai sensor dari pola tangan dalam sistem museum virtual. Pengujian ini dilakukan pada interaksi dan pola tangan

Tabel 4.6: Hasil pengujian performansi menggunakan *occlusion culling*

Iterasi	<i>Vertex</i>			<i>Frame rate (fps)</i>		
	Maks.	Min.	<i>Mean</i>	Maks.	Min.	<i>Mean</i>
1	4.1m	1.8m	2.9m	312,5	196,1	254,3
2	9.1m	576.3k	4.8m	416,6	66,7	241,6
3	11m	3.9m	7.45m	232,5	44,8	138,65
4	14m	2.4m	8.2m	250	52,1	151,05
5	13.9m	2.4m	8.15m	243,9	77,5	160,7
6	4.5m	267.3k	2.38m	500	285,7	392,85
7	13.3m	4.5m	8.9m	303,03	81,3	192,1
8	1.0m	12k	506k	1111,1	909,1	1010,1
9	1.4m	19.4k	709.7k	1250	1000	1125
10	5.2m	2.6m	3.9m	1000	714,2	857,1

Tabel 4.7: Hasil pengujian performansi tanpa *occlusion culling*

Iterasi	<i>Vertex</i>			<i>Frame rate (fps)</i>		
	Maks.	Min.	<i>Mean</i>	Maks.	Min.	<i>Mean</i>
1	13.7m	2.1m	7.9m	370,3	181,8	276,05
2	13.1m	828.5k	6.69m	357,1	109,8	233,4
3	12.6m	2.4m	7.5m	285,7	27,7	156,7
4	14m	12,5m	13.25m	238,1	22,4	130,5
5	14m	8.0m	11m	217,5	24,9	121,2
6	4.3m	302.5k	2.3m	344,8	61,3	203,05
7	14m	3.5m	8.75m	303,03	24,6	163,8
8	1.0m	13k	506,5k	1250	666,7	958,3
9	1.4m	21.8k	710.9k	1111,1	833,3	972,2
10	5.2m	2.6m	3.9m	1250	86,9	668,4

yang telah dirancang dan diterapkan. Melalui pengujian ini juga, performansi pengindera tangan diukur dengan memperhitungkan kemampuan baca pola tangan yang bervariasi[11].

Pada pengujian pengindra tangan ini, percobaan dilakukan dengan melakukan interaksi dengan memenuhi parameter interaksi dan pola tangan yang diperlukan. Namun pada beberapa pola tangan dilakukan perulangan dengan perbedaan sisi dari pengindra tangan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan pengindra tangan dalam mendeteksi pola tangan dengan variasi yang berbeda.



(a) Pola tutup informasi



(b) Pola mulai aplikasi & buka informasi



(c) Pola rotasi kiri & buka informasi



(d) Pola rotasi kanan



(e) Pola maju mundur 1



(f) Pola maju mundur 2

Gambar 4.6: Variasi pola tangan.

Pada interaksi pola tangan, digunakan pola tangan kanan dan tangan kiri untuk melakukan interaksi, namun pada interaksi *Play Scene*, interaksi pola tangan hanya dilakukan pada tangan kanan.

Pola tangan yang diuji pada pengujian deteksi pengindra tangan dapat dilihat pada Gambar 4.6.

Untuk pola tangan kiri seperti pada Gambar 4.6a pola tangan kiri digunakan untuk melakukan interaksi menutup informasi pada tiap koleksi dan juga berfungsi untuk interaksi keluar dari setiap *scene*. Pola tangan kanan seperti pada Gambar 4.6b digunakan untuk interaksi memulai aplikasi museum virtual, interaksi menampilkan informasi dan juga sebagai interaksi untuk masuk kedalam *scene* khusus seperti *scene* Pejati, *scene* Genta dan *scene* Wadah Tirta.

Untuk pola tangan kiri seperti pada Gambar 4.6c digunakan untuk interaksi rotasi kamera terhadap sumbu $-x$, dan pola tangan kanan pada Gambar 4.6d digunakan untuk interaksi rotasi kamera terhadap sumbu x . Pola tangan pada Gambar 4.6e digunakan untuk interaksi maju mundur, sedangkan pada Gambar 4.6f merupakan variasi dari pola tangan untuk interaksi maju mundur.

Setiap pola tangan dilakukan perulangan sebanyak 10 iterasi. Tiap iterasi memperhitungkan parameter yang telah ditentukan. Parameter yang digunakan adalah efektifitas yang memperhitungkan jumlah iterasi pola tangan yang berhasil memicu interaksi.

Pada Tabel 4.8, dapat dilihat bahwa tiap interaksi memiliki memiliki nilai efektifitas yang berbeda. Dari 10 iterasi yang dilakukan pada tangan kanan dan tangan kiri, pola tangan mampu memicu interaksi *Play Scene* sebanyak 10 kali. Pada pola tangan untuk memicu interaksi *Play Scene* hanya dilakukan dengan tangan kanan.

Untuk pola tangan untuk memicu interaksi buka informasi dilakukan sebanyak 10 iterasi dan berhasil memicu interaksi panel informasi sebanyak 10 kali, untuk melakukan interaksi buka informasi hanya dilakukan dengan tangan kanan, sedangkan pola tangan untuk melakukan interaksi tutup informasi dilakukan dengan pola tangan kiri sebanyak 10 iterasi dengan keberhasilan melakukan interaksi sebanyak 10 kali.

Pola tangan untuk memicu interaksi masuk *scene* Pejati dilakukan perulangan sebanyak 10 iterasi dan berhasil memicu interaksi masuk *scene* Pejati sebanyak 10 kali, sedangkan pola tangan untuk memicu keluar *scene* Pejati berhasil dilakukan sebanyak 10 kali dengan perulangan sebanyak 10 iterasi.

Pola tangan untuk memicu interaksi masuk *scene* Genta di-

Tabel 4.8: Hasil pengujian kemampuan deteksi pengindraa tangan pada pola tangan dan interaksi.

Iterasi	Interaksi & Pola	Efektif	
		Kiri	Kanan
10	<i>Play Scene</i>	-	10
10	Buka Informasi	-	10
10	Tutup Informasi	10	-
10	Masuk <i>Scene</i> Pejati	-	10
10	Keluar <i>Scene</i> Pejati	10	-
10	Masuk <i>Scene</i> Genta	-	10
10	Keluar <i>Scene</i> Genta	10	-
10	Masuk <i>Scene</i> Wadah Tirta	-	10
10	Keluar <i>Scene</i> Wadah Tirta	10	-
10	Rotasi Kamera	10	10
10	Maju Mundur 1	10	10
10	Maju Mundur 2	7	9
Rata-rata		95,7%	98,7%

lakukan perulangan dengan menggunakan pola tangan kanan sebanyak 10 iterasi dan pola tangan berhasil memicu interaksi masuk *scene* Genta sebanyak 10 kali. Sedangkan pola tangan untuk memicu interaksi keluar *scene* Genta dilakukan perulangan dengan pola tangan kiri sebanyak 10 iterasi dan berhasil memicu interaksi keluar *scene* Genta sebanyak 10 kali.

Pada pola tangan untuk memicu interaksi masuk *scene* Wadah Tirta dilakukan perulangan sebanyak 10 iterasi dan berhasil memicu interaksi masuk *scene* Wadah Tirta sebanyak 10 kali, sedangkan pola tangan untuk memicu keluar *scene* Wadah berhasil dilakukan sebanyak 10 kali dengan perulangan sebanyak 10 iterasi.

Pada pola tangan untuk memicu interaksi rotasi kamera ke-kiri dapat dilakukan sebanyak 10 kali dengan perulangan sebanyak 10 iterasi dan pola tangan untuk memicu interaksi rotasi kamera kekanan dapat dilakukan sebanyak 10 kali dengan perulangan sebanyak 10 iterasi. Hal ini juga terjadi pada pola tangan untuk interaksi maju mundur 1, interaksi dapat dipicu sebanyak 10 kali dengan perulangan 10 iterasi.

Pada pola tangan untuk memicu interaksi maju mundur, pola tangan berhasil memicu interaksi maju sebanyak 9 kali dan mundur sebanyak 7 kali dalam 10 iterasi. Hal ini dikarenakan genggam-an tangan yg menghadap kedepan sulit dideteksi oleh sensor Leap Motion.

Dari hasil pengujian deteksi pola tangan dengan jumlah per-ulangan sebanyak 120 iterasi, didapatkan nilai rata-rata dari setiap pola tangan untuk memicu interaksi. Sebanyak 95,7% interaksi dapat dipicu oleh pola tangan kiri dan 98,7% interaksi berhasil dipicu oleh pola tangan kanan.

4.3 Pengujian Ketergunaan

Ketergunaan atau *usability* adalah sejauh mana suatu produk dapat digunakan oleh pengguna tertentu dalam mencapai suatu tujuan dengan efektifitas, efisiensi dan kepuasan dalam konteks yang dispesifikasikan[3].

Tabel 4.9: Spesifikasi *server* yang digunakan.

Spesifikasi	
Processor	Intel(R) i7-3630 @ 2.40 GHz
RAM	8 GB
GPU	NVIDIA GeForce GT 650
HDD	1 TB
Sistem Operasi	Windows 10 Home
Konektifitas	USB 3

Untuk dapat menerapkan metrik ketergunaan, pada pengujian dalam penelitian ini, partisipan diminta untuk melakukan tiga buah skenario yang mewakili penggunaan interaksi menggunakan pengidera tangan. Ketiga skenario tersebut adalah skenario memulai *scene*, skenario eksplorasi dan skenario interaksi. Setiap skenario memiliki jenis tugas yang berbeda sesuai dengan interaksi yang diuji. Parameter yang diukur adalah keberhasilan penguuna untuk melakukan eksplorasi dan interaksi pada museum virtual.

Dari ketiga skenario, terdapat 10 tugas yang harus diselesaikan oleh partisipan. Pada Tabel 4.10 dijelaskan tentang skenario dengan masing-masing tugas beserta deskripsinya. Pengujian ketergunaan ini dilakukan dengan melibatkan 5 orang partisipan. Pengujian dila-

kukan dengan menggunakan sensor pengindera tangan Leap Motion dan PC *server* dengan spesifikasi seperti pada Tabel 4.9.

Tabel 4.10: Skenario pengujian.

No	Skenario	Deskripsi
1	<i>Play Scene</i>	Memulai aplikasi museum virtual pada menu awal.
2	Eksplorasi	Melakukan rotasi kamera pengguna 180 derajat kearah kanan dan kiri.
3	Eksplorasi	Melakukan pergerakan maju dan mundur.
4	Interaksi	Menampilkan tutorial dengan menekan tombol pada tangan kiri.
5	Eksplorasi	Berpindah tempat menggunakan fitur tombol panduan jejak.
6	Interaksi	Menampilkan informasi pada koleksi Arca Dewa Siwa.
7	Interaksi	Menampilkan informasi pada koleksi Arca Dewi Durga.
8	Interaksi	Masuk ke dalam <i>scene</i> Pejati dan menampilkan informasi.
9	Interaksi	Masuk ke dalam <i>scene</i> Genta dan menampilkan informasi.
10	Interaksi	Masuk ke dalam <i>scene</i> Wadah Tirta dan menampilkan informasi.

Sebelum melakukan skenario, partisipan diberikan arahan untuk memahami interaksi yang dibutuhkan. Partisipan juga diberi kesempatan untuk mencoba terlebih dahulu interaksi tangan yang akan dilakukan. Skenario eksplorasi dirancang untuk menguji interaksi tangan untuk melakukan eksplorasi dalam museum virtual.

Dari 10 skenario yang disajikan, skenario pertama yang harus dilakukan oleh partisipan adalah memulai aplikasi museum virtual pada menu utama museum virtual. Jika partisipan berhasil mela-

kukan interaksi untuk memulai aplikasi, maka pengguna akan masuk kedalam museum virtual.

Tugas kedua adalah melakukan rotasi kamera sebesar 180 derajat ke arah kanan dan ke arah kiri dengan melakukan pola tangan rotasi kanan kiri.

Tugas ketiga adalah menggerakkan karakter *First Person Controller* untuk bergerak maju dan mundur. Skenario maju mundur ini bisa dilakukan oleh partisipan sambil melakukan rotasi ke kanan dan ke kiri.

Tugas keempat adalah menampilkan tutorial seluruh panduan pada museum virtual dengan cara menekan tombol yang ada pada tangan sebelah kiri. Selain itu partisipan juga diminta untuk menutup panel tutorial.

Tugas kelima adalah berpindah tempat menggunakan fitur tombol panduan jejak. Tombol jejak ini dapat diakses dengan mengarahkan kamera ke arah tombol selama dua detik, maka pengguna akan berpindah secara otomatis ke arah tombol. Tombol ini merupakan *sitevisit* yang ditujukan untuk mendapatkan spot yang cocok untuk melakukan interaksi pada koleksi museum maupun melihat pemandangan museum virtual.

Tugas keenam adalah bergerak menuju koleksi museum yaitu Arca Dewa Durga dan menampilkan informasi yang dilanjutkan dengan menutup informasi. Tugas ketujuh sama dengan tugas keenam yaitu menampilkan informasi yang dilanjutkan dengan menutup informasi Arca Dewi Durga.

Untuk tugas kedelapan, kesembilan dan kesepuluh adalah menggerakkan *First Person Controller* ke koleksi museum yaitu berupa alat-alat persembahyangan seperti Pejati, Genta dan Wadah Tirta. Kemudian partisipan diminta untuk menampilkan informasi alat-alat persembahyangan dan dilanjutkan dengan menutup informasi.

4.3.1 Pengujian Efektifitas

Pengujian efektifitas ini dapat dilakukan dengan memperhatikan pengukuran *completion rate*. Pengukuran ini meminta partisipan untuk menyelesaikan serangkaian tugas yang telah disediakan. *Completion rate* diperhitungkan dengan memberikan nilai 1 jika partisipan berhasil menyelesaikan suatu tugas dan 0 jika partisipan tidak mampu menyelesaikannya. Semakin tinggi *completion rate*

maka semakin efektif sistem tersebut.

$$\text{Effectivity} = \frac{\text{Completed Tasks}}{\text{Total Number of Tasks}} \times 100\% \dots\dots\dots 4.1$$

Melalui persamaan 4.1, nilai *completion rate* dapat diketahui dengan presentasi tugas yang telah diselesaikan oleh partisipan. *Completion rate* tidak membutuhkan parameter waktu untuk menyelesaikan tugas, selama satu tugas dapat diselesaikan maka akan bernilai 1.

Tabel 4.11: Hasil Pengujian *Completion Rate* kategori dewasa.

No	Tugas	Dilakukan	<i>Completion Rate</i>
1	5	5	100%
2	5	5	100%
3	5	5	100%
4	5	5	100%
5	5	5	100%
6	5	5	100%
7	5	5	100%
8	5	5	100%
9	5	5	100%
10	5	5	100%
Total	50	50	100%

Skenario yang telah disediakan dilakukan oleh partisipan, dimana partisipan ini dibagi menjadi dua kategori yaitu partisipan dewasa dan partisipan anak-anak. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah eksplorasi Museum Virtual ini mudah dilakukan oleh anak-anak maupun deawasa. Untuk kategori deawasa terdapat lima orang partisipan yang merupakan mahasiswa ITS yang berusia 20-23 tahun, sedangkan untuk kategori anak-anak terdapat 10 orang

partisipan yang berusia 5-16 tahun. Berdasarkan jumlah tugas yang ditentukan yaitu 10 skenario maka terdapat total 50 percobaan untuk kategori dewasa dan 100 percobaan untuk kategori anak-anak. Hasil pengujian *completion rate* dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12.

Tabel 4.12: Hasil Pengujian *Completion Rate* kategori anak-anak.

No	Tugas	Dilakukan	<i>Completion Rate</i>
1	10	10	100%
2	10	10	100%
3	10	5	50%
4	10	4	40%
5	10	4	40%
6	10	8	80%
7	10	9	90%
8	10	8	80%
9	10	8	100%
10	10	9	90%
Total	100	75	75%

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.12, dapat dilihat bahwa terdapat beberapa anak-anak mengalami kesulitan dalam melakukan eksplorasi untuk berjalan maju mundur dan menampilkan tutorial, hal ini disebabkan karena sensor pengindra tangan Leap Motion kesulitan untuk mendeteksi posisi tangan anak-anak yang terlalu dekat dengan posisi Leap Motion, hal ini juga dikarenakan anak-anak yang kurang memahami jarak yang tepat untuk menggunakan sensor pengindra tangan sehingga interaksi untuk melakukan eksplorasi maju mundur dan menampilkan tutorial.

4.3.2 Pengujian Kuisisioner

Pengujian kuisisioner ini dilakukan dengan cara memberi kuisisioner kepada para partisipan yang telah mencoba aplikasi museum virtual ini. Pengujian ini dilakukan pada 40 orang partisipan yang merupakan mahasiswa Departemen Teknik Komputer yang berusia

18-23 dan partisipan lainnya berupa anak-anak berusia 5-17 tahun yang terdiri dari 31 orang pria dan 9 orang wanita. Pada pengujian kuisioner ini, partisipan diberikan beberapa pernyataan untuk mengetahui berapa tingkat persetujuan responden terhadap pernyataan tersebut. Partisipan diberikan lima opsi yang berisikan tingkat persetujuan dan diminta untuk memilih salah satu dari opsi tersebut. Berikut adalah opsi-opsi yang disediakan:

1. Sangat Setuju (SS)
2. Setuju (S)
3. Netral (N)
4. Tidak Setuju (TS)
5. Sangat Tidak Setuju (STS)

Pada pengujian ini, partisipan menerima 10 buah pernyataan. Daftar pernyataan dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Pernyataan 1 dan 2 ditujukan untuk mengetahui bagaimana pengetahuan pengguna tentang museum virtual dan alat pengindra tangan pada museum virtual ini. Pernyataan 3 hingga 6 ditujukan untuk mengukur bagaimana kenyamanan responden dalam melakukan interaksi untuk menampilkan informasi dan kejelasan informasi yang didapat responden dalam museum virtual ini.

Pernyataan 7 hingga 9 dimaksudkan untuk mengukur bagaimana pendapat responden mengenai kemudahan responden dalam melakukan interaksi untuk memulai aplikasi, menampilkan informasi dan menutup informasi pada museum virtual. Pernyataan 10 adalah pernyataan yang mewakili pendapat responden mengenai pengalaman yang didapat setelah melakukan eksplorasi dan interaksi dalam museum virtual ini.

Dari pengujian kuisioner ini, didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.14. Menurut hasil kuisioner, sebanyak 32.50% responden belum mengetahui tentang teknologi museum virtual dan sebanyak 37.50% sudah mengetahui tentang teknologi museum virtual begitu juga dengan 7.50% responden lainnya. Hasil yang sama juga pada pengetahuan tentang teknologi pengindra tangan Leap Motion, sebanyak 32.50% responden belum mengetahui tentang teknologi pengindra tangan Leap Motion dan 30% responden sudah mengetahui tentang teknologi pengindra tangan Leap Motion.

Pada saat partisipan melakukan interaksi dan eksplorasi, se-

Tabel 4.13: Daftar pernyataan dalam kuisioner.

No	Pernyataan
1	Anda mengetahui teknologi Museum Virtual.
2	Anda mengetahui teknologi pengindra tangan Leap Motion.
3	Panduan dalam museum virtual membantu dalam berinteraksi dengan koleksi yang dipamerkan.
4	Merasa nyaman saat eksplorasi pada ruang lingkup museum virtual.
5	Informasi yang ditampilkan sudah cukup jelas.
6	Koleksi yang ditampilkan tampak detail.
7	Pola tangan untuk memulai aplikasi mudah dilakukan.
8	Pola tangan untuk menampilkan informasi mudah dilakukan.
9	Pola tangan untuk menutup aplikasi mudah dilakukan.
10	Interaksi tangan memberikan pengalaman baru dalam eksplorasi museum virtual dibandingkan dengan menggunakan keyboard dan mouse.

banyak 70% responden merasa sangat dibantu dengan adanya panduan interaksi dalam museum virtual. Selanjutnya, sebanyak 50% responden merasa nyaman saat melakukan interaksi maupun eksplorasi pada museum virtual dan sebanyak 17.50% responden merasa kurang nyaman saat melakukan interaksi dan eksplorasi di museum virtual.

Terkait penyampaian informasi dalam setiap koleksi museum, sebanyak 55% responden merasa cukup jelas dengan informasi yang disampaikan pada museum virtual ini. Untuk tingkat detail dari setiap objek yang dipamerkan, sebanyak 35% responden setuju bahwa koleksi yang dipamerkan sudah cukup detail, begitu juga 37.50% responden lainnya, namun sebanyak 2.50% responden kurang setuju akan hal tersebut.

Untuk pola tangan yang digunakan untuk memulai aplikasi

Tabel 4.14: Persentase respon partisipan terhadap pernyataan pada kuisioner.

Pernyataan	Jawaban				
	STS	TS	N	S	SS
Pernyataan 1	0%	32.50%	12.50%	37.50%	7.50%
Pernyataan 2	0%	32.50%	20.00%	30.00%	7.50%
Pernyataan 3	0%	0%	7.50%	70.00%	22.50%
Pernyataan 4	0%	17.50%	25.00%	50.00%	7.50%
Pernyataan 5	0%	0%	12.50%	55.00%	32.50%
Pernyataan 6	0%	2.50%	25.00%	35.00%	37.50%
Pernyataan 7	0%	17.50%	35.00%	37.50%	10.00%
Pernyataan 8	0%	15.00%	22.50%	57.50%	5.00%
Pernyataan 9	0%	7.50%	17.50%	62.50%	12.50%
Pernyataan 10	0%	0%	2.50%	35.00%	62.50%

museum virtual, sebanyak 37.50% responden setuju bahwa untuk memulai aplikasi museum virtual mudah dilakukan. Sementara pola tangan untuk menampilkan informasi dan menampilkan koleksi untuk digenggam, sebanyak 57.50% responden setuju bahwa pola tangan untuk menampilkan informasi mudah dilakukan dan sebanyak 15% tidak setuju bahwa pola tangan mudah dilakukan.

Terkait pola tangan untuk menutup informasi, sebanyak 62.50% responden setuju bahwa pola tangan untuk menutup informasi mudah dilakukan, selain itu pola tangan untuk eksplorasi ruang lingkup museum seperti maju mundur dan rotasi kamera ke kanan dan ke kiri mudah dilakukan.

Setelah melakukan eksplorasi dan interaksi pada koleksi museum virtual, sebanyak 62.50% responden sangat setuju bahwa interaksi tangan menggunakan sensor pengindra tangan Leap Motion memberi pengalaman baru dalam eksplorasi museum virtual dibandingkan dengan menggunakan keyboard dan mouse. Hal tersebut disetujui oleh 35% responden lainnya.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian interaksi dengan pengindra tangan pada museum virtual, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Rekonstruksi 3D menggunakan *engine* Autodesk Remake memiliki ukuran *output* lebih kecil dibandingkan VisualFSM, sehingga lebih cocok digunakan untuk rekonstruksi museum virtual.
2. Kedalaman tampilan 3D dari museum virtual lebih terlihat nyata dengan menggunakan TV 3D Stereoscopic Display.
3. Daya komputasi *server* mempengaruhi performa museum virtual. Sehingga dibutuhkan PC dengan minimal spesifikasi *processor* Intel(R)i7-3630 @ 2.40GHz, RAM 8 Gb dan GPU NVIDIA GeForce GT 650.
4. Jumlah *vertex* yang ditangkap tiap *frame* mempengaruhi performa museum virtual.
5. *Environment* museum virtual seperti jumlah pepohonan dan objek-objek lainnya dapat mempengaruhi FPS. Semakin banyak *environment* yang digunakan, semakin kecil FPS yang di dapat.
6. Kondisi Player yang dikendalikan pada museum virtual mempengaruhi performa museum virtual. Dalam posisi *idle*, fps yang diperoleh stabil. Namun jika player dalam kondisi bergerak, fps yang diperoleh mengalami perubahan yang signifikan.
7. Jumlah *vertex* yang ditangkap kamera lebih sedikit jika menggunakan *occlusion culling* dibandingkan tidak menggunakan *occlusion culling*.

8. Berdasarkan pengujian *completion rate*, pola tangan yang disediakan, partisipan dengan kategori dewasa mampu melaksanakan tugas dengan tingkat keberhasilan 100%, sedangkan partisipan anak-anak mampu menyelesaikan tugas dengan keberhasilan 75%.
9. Pola tangan kanan untuk memicu interaksi pada museum virtual berhasil dilakukan dengan nilai rata-rata 98,7%.
10. Pola tangan kiri untuk memicu interaksi pada museum virtual berhasil dilakukan dengan nilai rata-rata 92,8%.
11. Terjadinya *miss gesture* diakibatkan karena sensor penginderaan tangan Leap Motion kesulitan dalam membaca posisi kelima jari ketika dikepalkan atau dalam posisi *palm*.
12. Sebanyak 37.50% partisipan merasa bahwa tingkat detail dari koleksi museum cukup bagus.
13. Sebanyak 62.50% partisipan sangat setuju bahwa interaksi tangan menggunakan sensor penginderaan tangan Leap Motion memberi pengalaman baru dalam eksplorasi museum virtual. Hal tersebut disetujui oleh 35.00% partisipan lainnya.

5.2 Saran

Demi pengembangan lebih lanjut mengenai penelitian ini, disarankan beberapa langkah lanjutan sebagai berikut:

1. Penggunaan *server* yang memiliki *processor* minimal Intel(R) i7-3630 @ 2.40 GHz, guna mendapatkan fps yang stabil.
2. Penyusunan *environment* museum virtual agar mendapatkan kestabilan fps.
3. Penambahan toleransi *delay time* pada pola interaksi tangan agar memudahkan pengguna dalam melakukan interaksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. G. Love, “Object recognition from local scale-invariant features,” Proceedings of the International Conference on Computer Vision, 1999. (Dikutip pada halaman xiii, 6, 7, 9).
- [2] H. Kieu, T. Pan, Z. Wang, M. Le, H. Nguyen, and M. Vo, “Accurate 3d shape measurement of multiple separate objects with stereo vision,” 2014. (Dikutip pada halaman xiii, 8).
- [3] H. Al-Kilidar, K. Cox, and B. Kitchenham, “The use and usefulness of the iso/iec 9126 quality standard,” Empirical Software Engineering, 2005. International Symposium on, pp. 7(pp, IEEE), 2005. (Dikutip pada halaman xiii, 10, 59).
- [4] L. Motion, Leap Motion Controller. 2015. (Dikutip pada halaman xiii, 12).
- [5] R. Aigner, D. Wigdor, H. Benko, M. H. nad D. Lindbauer, A. Ion, S. Zhao, and J. Koh, “Understanding mid-air hand gestures: A study of human preferences in usage of gesture types for hci,” (Dikutip pada halaman xiii, 13, 14).
- [6] S. Reeve and J. Flock, “Basic principles of stereoscopic 3d,” 2010. (Dikutip pada halaman xiii, 17, 18).
- [7] Wikipedia, “Passive-3d-tv-technology.” (Dikutip pada halaman xiii, 17).
- [8] L. Y. Banowosari, Journal Pembuatan Museum Virtual Budaya dan Sejarah. 2014. (Dikutip pada halaman 5).
- [9] D. G. Love, “Distinctive image features from scale-invariant keypoints,” International Journal of Computer Vision, 2004. (Dikutip pada halaman 7, 8).
- [10] G. Marin, F. Dominio, and P. Zanuttigh, “Hand gesture recognition with leap motion and kinect devices,” IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2014. (Dikutip pada halaman 10).

- [11] D. Iskandar, S. Surya, and Christyowidiasmoro, “Pengenalan isyarat tangan menggunakan leap motion controller untuk pertunjukan boneka tangan virtual,” Journal Teknik ITS, 2010. (Dikutip pada halaman 11, 55).
- [12] L. E. Potter, J. Araullo, and L. Carter, “The leap motion controller: a view on sign language,” (Dikutip pada halaman 13).

LAMPIRAN

I. Interaksi Koleksi Museum



(a) Interaksi genggam pada koleksi museum Arca Dewi Durga.



(b) Interaksi genggam pada koleksi museum Arca Dewa Siwa.



(c) Interaksi genggam pada koleksi museum Genta.



(d) Ruang khusus sarana persembahyangan.

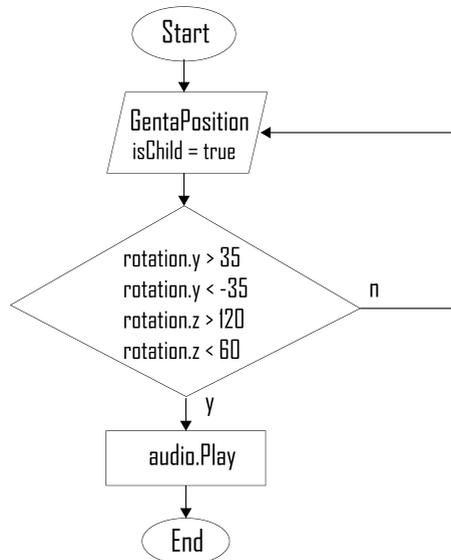


(e) Interaksi genggam pada koleksi museum Wadah Tirta.

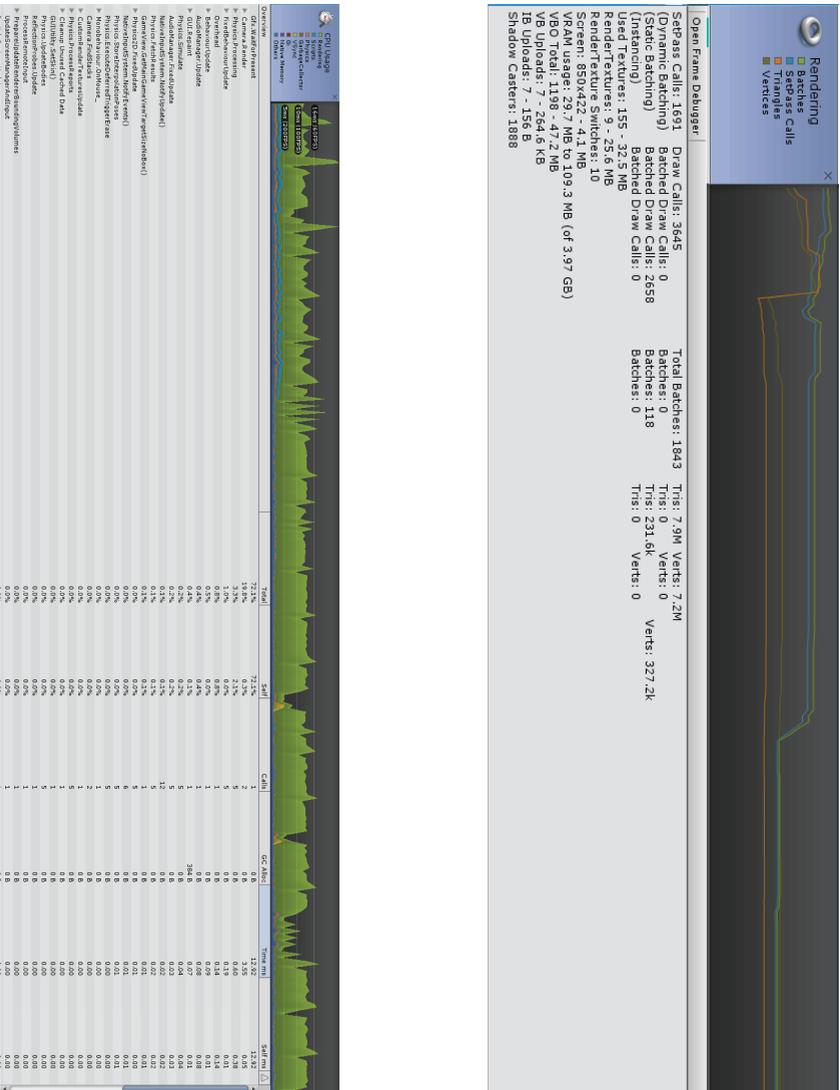
Gambar 1: Interaksi Koleksi Museum

II. Algoritma Suara Genta

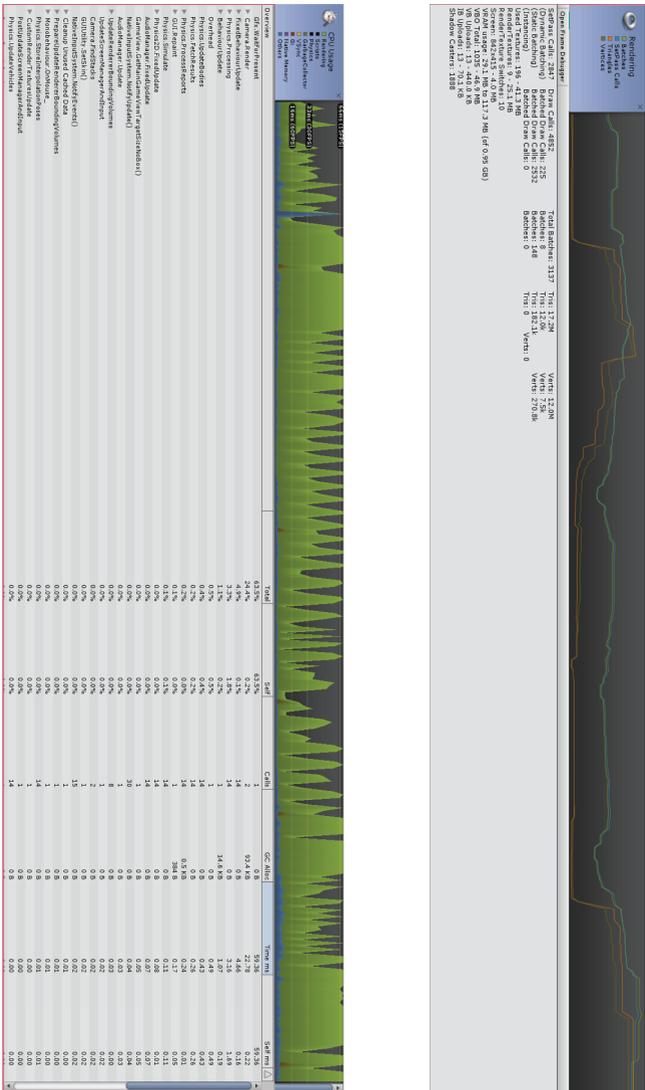
Pada ruangan khusus alat persembahyangan Genta, pengguna dapat menggunakan Genta seperti pada dunia nyata. Pada *flowchart* Algoritma Genta dijelaskan jika posisi Genta dengan sudut kemiringan y lebih dari 35 derajat atau y kurang dari -35 derajat, maka genta akan mengeluarkan suara lonceng, begitu juga jika Genta memiliki sudut kemiringan z lebih dari 120 derajat atau z kurang dari 60 derajat maka Genta akan mengeluarkan suara lonceng.



Gambar 2: Interaksi genggam pada koleksi museum Wadah Tirta.



Gambar 4: Hasil pengujian performansi CPU dan GPU pada PC2



Gambar 6: Hasil pengujian performansi CPU dan GPU pada PC4

BIOGRAFI PENULIS



I Gede Aris Dharmayasa, lahir pada 19 September 1995 di Denpasar, Bali. Penulis menempuh pendidikan S1 Departemen Teknik Komputer bidang studi *Game and Mobile Apps* Fakultas Teknologi Elektro ITS. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam kepanitiaan di TPKH ITS serta menjabat sebagai Ketua Etnicoustic TPKH ITS pada tahun 2015-2016 dan juga menjadi anggota aktif Lab-B201 crew. Penulis sangat berpengalaman dalam menjabat sebagai Kordinator Publikasi Dokumentasi dan Kordinator Acara, hingga pada tahun 2016 penulis bertugas sebagai Koordinator Asisten dan Pemateri Augmented Reality pada acara Commtech 2016 yang diselenggarakan oleh International Office ITS. Penulis menghabiskan banyak waktu untuk mendalami *Game Design, Artist, Video Editing* dan *Web Design*.

Halaman ini sengaja dikosongkan