

SKRIPSI

**IMPLEMENTASI ALGORITMA SIFT PADA APLIKASI
MEDIA PEMBELAJARAN MACAM-MACAM MINERAL
BERBASIS *AUGMENTED REALITY*
(STUDI KASUS: SMAN 9 LUWU TIMUR)**

Disusun dan diajukan oleh:

**PIRDA
D121 18 1012**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**IMPLEMENTASI ALGORITMA SIFT PADA APLIKASI MEDIA
PEMBELAJARAN MACAM-MACAM MINERAL BERBASIS
AUGMENTED REALITY
(STUDI KASUS : SMAN 9 LUWU TIMUR)**

Disusun dan diajukan oleh

**Pirda
D121181012**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 22 Maret 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



A. Ais Prayogi Alimuddin, S.T., M.Eng.
NIP 19830510 201404 1 001



Prof. Dr. Eng. Intan Sari Areni, S.T., M.T.
NIP 19750203 200012 2 002

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. J. Indrabayu ST, MT, M.Bus.Sys., IPM, ASEAN. Eng
NIP 19750716 200212 1 004

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Pirda
NIM : D121181012
Program Studi : Teknik Informatika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Implementasi Algoritma SIFT pada Aplikasi Media Pembelajaran Macam-
Macam Mineral Berbasis *Augmented Reality*
Studi Kasus : SMAN 9 Luwu Timur}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 22 Maret 2024

Yang Menyatakan



Pirda

ABSTRAK

PIRDA. *Implementasi Algoritma SIFT pada Aplikasi Media Pembelajaran Macam-Macam Mineral Berbasis Augmented Reality (Studi Kasus: SMAN 9 Luwu Timur)* (dibimbing oleh A. Ais Prayogi Alimuddin dan Intan Sari Areni)

OSN atau Olimpiade Sains Nasional merupakan ajang yang memungkinkan pelajar untuk dapat menggali kemampuan dalam bidang Sains. Salah satu bidang yang paling unik dan menantang dalam OSN adalah Kebumihan. Mineral merupakan salah satu materi OSN Kebumihan yang selalu muncul dalam soal tiap tahunnya. Namun karena tidak adanya bentuk fisik mineral yang seharusnya dijadikan bahan pengamatan secara langsung sehingga menyebabkan peserta kesulitan belajar. Peserta OSN Kebumihan setidaknya harus menguasai materi mineral selain melalui buku ajar, internet, maupun penjelasan langsung guru pembimbing. Dengan keterbaharuan teknologi khususnya AR kini berbagai macam media pembelajaran telah menerapkan teknologi *augmented reality*.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat sebuah aplikasi media pembelajaran mineral utama pembentuk batuan dengan menerapkan *augmented reality* berbasis Android dan mengetahui unjuk kerja algoritma SIFT pada *augmented reality* media pembelajaran macam-macam mineral. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis data *usability testing* pengguna dari segi *learnability*, *efficiency*, dan *error*. Terakhir analisis tingkat kepuasan pengguna terhadap sistem yang dibuat melalui SEQ dan pengisian kuesioner.

Metode yang digunakan untuk pengembangan perangkat lunak aplikasi *augmented reality* adalah metode *waterfall* yang dilakukan secara berurutan mulai dari pencarian kebutuhan hingga perbaikan dan pengembangan. Sementara itu metode *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT) digunakan untuk mendeteksi dan mendeskripsikan fitur lokal dalam gambar pada *augmented reality*.

Aplikasi *augmented reality* (AR) mineral berhasil dibuat melalui proses perancangan *user interface*, pembuatan objek 3D, pembuatan dan penentuan *marker*, serta pembuatan aplikasi AR. Aplikasi AR mineral dapat memvisualisasikan objek 3D dari berbagai parameter yaitu jarak 6-130 cm, rotasi 0-360°, sudut pandang 20-160°, dan cahaya 1-100.000 lux. AR mineral menerapkan metode SIFT yang berhasil mendeteksi dan mencocokkan *keypoint* dari berbagai parameter yaitu jarak, rotasi, sudut pandang, dan cahaya. *Matching keypoint* terbanyak diperoleh *marker hornblende* sebesar pada jarak 10 cm sebesar 1961 *keypoint*, rotasi 90° sebesar 2169 *keypoint*, sudut pandang 90° sebesar 1981 *keypoint*, dan cahaya 40-56 lux sebesar 1975 *keypoint*. Pada aspek *learnability* diperoleh nilai sebesar 93%, aspek *efficiency* 86%, dan aspek *error* 6%. Selanjutnya aspek *satisfaction* menggunakan SEQ diperoleh nilai rata-rata tertinggi 6.8 sedangkan untuk kuesioner menggunakan skala *likert* pada aspek manfaat aplikasi diperoleh nilai sebesar 92.8%, kemudahan aplikasi 92.8%, konten aplikasi 92.8%, dan tampilan aplikasi 90.4% yang berarti sangat baik pada semua aspek.

Kata Kunci: *Augmented Reality*, Mineral, *Waterfall*, *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT), *Usability Testing*.

ABSTRACT

PIRDA. *Implementation of the SIFT Algorithm in the Application of Learning Media for Various Minerals Based on Augmented Reality (Case Study: SMAN 9 Luwu Timur)* (supervised by A. Ais Prayogi Alimuddin and Intan Sari Areni)

OSN or National Science Olympiad is an event that allows students to explore their abilities in the field of science. One of the most unique and challenging fields in OSN is Earth OSN. Minerals are one of the Earth OSN materials that always appear in questions every year. However, because there is no physical form of minerals that should be used as material for direct observation, this makes it difficult for participants to learn. Earth OSN participants must at least master mineral material other than through open books, the internet, or direct explanations from the supervising teacher. With the latest technology, especially AR, now various kinds of learning media have implemented augmented reality technology.

This research aims to create a learning media application for the main rock-forming minerals by applying Android-based augmented reality and knowing the performance of the SIFT algorithm in augmented reality learning media for various minerals. In addition, this research also aims to analyze user usability testing data in terms of learning ability, efficiency, and errors. Finally, analysis of the level of user satisfaction with the system is carried out through SEQ and filling out questionnaires.

The method used for developing augmented reality application software is the waterfall method which is carried out sequentially starting from searching for needs to improving and developing. Meanwhile, the Scale Invariant Feature Transform (SIFT) method is used to detect and describe local features in augmented reality images of minerals.

The mineral augmented reality (AR) application was successfully created through the process of designing a user interface, creating 3D objects, creating and determining markers, and creating an AR application. The mineral augmented reality application can visualize 3D objects from various parameters, namely distance 6-130 cm, rotation 0-360°, viewing angle 20-160°, and light 1-100,000 lux. Mineral AR applies the SIFT method which successfully detects and matches keypoints from various parameters, namely distance, rotation, viewing angle and light. The most keypoint matching was obtained by the Hornblende marker at a distance of 10 cm for 1961 keypoints, 90° rotation for 2169 keypoints, 90° viewing angle for 1981 keypoints, and 40-56 lux light for 1975 keypoints. In the learnability aspect, the score was 93%, in the efficiency aspect 86%, and in the error aspect 6%. Furthermore, the satisfaction aspect using SEQ obtained the highest average value of 6.8, while for the questionnaire using the Likert scale, the application benefits aspect obtained a value of 92.8%, application ease 92.8%, application content 92.8%, and application appearance 90.4%, which means very good in all aspects.

Keywords: Augmented Reality, Mineral, Waterfall, Scale Invariant Feature Transform (SIFT), Usability Testing.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
KATA PENGANTAR	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Mineral	5
2.2 Konsep Dasar <i>Augmented Reality</i>	8
2.3 <i>Vuforia Augmented Reality</i>	12
2.5 Unity 3D.....	21
2.6 Blender 3D	22
2.7 <i>Visual Studio Code</i>	23
2.8 <i>Corel Draw</i>	23
2.9 OpenCV	24
2.10 <i>Natural Feature Tracking and Detection</i>	24
2.11 <i>Scale Invariant Feature Transform (SIFT)</i>	25
2.12 <i>Skala Likert</i>	31
2.13 <i>Model Waterfall</i>	32
2.14 <i>Black Box Testing</i>	33
2.15 <i>Paired Sample T-Test</i>	34
2.16 <i>Usability Testing</i>	42
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	48
3.1 Jenis Penelitian.....	48
3.2 Tahapan Penelitian.....	48
3.3 Waktu dan Lokasi Penelitian	51
3.4 Instrumen Penelitian	51
3.5 Perancangan AR.....	52
3.6 Perancangan <i>Marker</i>	68
3.7 Perancangan Objek 3D.....	69
3.8 Perancangan Metode SIFT.....	70
3.9 Perancangan AR dengan SIFT.....	76
3.10 Implementasi.....	78
3.11 Pengujian Hipotesis.....	89

3.12Pelaksanaan Evaluasi	91
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	99
4.1 Pengujian Fungsionalitas (<i>Black Box Testing</i>).....	99
4.2 Pengujian Kompatibilitas	109
4.3 Pengujian <i>Marker</i>	110
4.4 Pengujian Algoritma <i>Scale Invariant Feature Transform</i> (SIFT)	122
4.5 Uji Hipotesis	138
4.6 Pengujian <i>Usability</i>	141
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	156
5.1 Kesimpulan	156
5.2 Saran.....	157
DAFTAR PUSTAKA	158
LAMPIRAN	162

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur Vuforia	12
Gambar 2. Diagram aliran data Vuforia.....	14
Gambar 3. Sistem <i>high-level</i> pada Vuforia.....	16
Gambar 4. Perbandingan <i>features</i>	18
Gambar 5. Pengaturan kontras	19
Gambar 6. Distribusi fitur	20
Gambar 7. Bentuk organik	20
Gambar 8. Pola berulang.....	21
Gambar 9. Ilustrasi <i>gaussian</i> dan <i>difference of gaussian</i>	26
Gambar 10. Ilustrasi deteksi ekstremum.....	28
Gambar 11. Orientasi <i>keypoint</i>	30
Gambar 12. <i>Keypoint descriptor</i>	30
Gambar 13. Model <i>waterfall</i>	33
Gambar 14. Contoh analisis uji <i>paired sample t-test</i> penelitian pertama	38
Gambar 15. Contoh analisis uji <i>paired sample t-test</i> penelitian kedua.....	41
Gambar 16. Alur <i>usability testing</i>	42
Gambar 17. Langkah-langkah <i>usability testing</i>	44
Gambar 18. Skala SEQ	47
Gambar 19. <i>Use case diagram</i>	53
Gambar 20. <i>Flowchart augmented reality</i>	63
Gambar 21. Perancangan <i>marker</i>	68
Gambar 22. <i>Flowchart marker based</i>	69
Gambar 23. Perancangan objek 3D.....	70
Gambar 24. Diagram alir SIFT	70
Gambar 25. <i>Flowchart AR</i> dengan SIFT	77
Gambar 26. Halaman utama.....	78
Gambar 27. Halaman petunjuk	79
Gambar 28. Halaman tentang.....	79
Gambar 29. Halaman deteksi <i>marker</i>	80
Gambar 30. Halaman materi	80
Gambar 31. Halaman pengertian mineral	81
Gambar 32. Halaman sifat fisik mineral	81
Gambar 33. Halaman sifat kimia mineral	82
Gambar 34. Halaman sifat optis mineral.....	82
Gambar 35. Halaman kuis.....	83
Gambar 36. <i>Import library</i>	87
Gambar 37. Membaca <i>image</i>	87
Gambar 38. Menentukan ukuran baru.....	87
Gambar 39. Mengubah ukuran <i>image</i>	87
Gambar 40. Inisialisasi detektor SIFT	88
Gambar 41. Ekstraksi <i>keypoints</i> dan <i>descriptor</i>	88
Gambar 42. Pencocokan <i>keypoints</i>	88
Gambar 43. <i>Ratio test</i>	88
Gambar 44. Menampilkan informasi	89
Gambar 45. Menggambar hasil <i>matching</i>	89

Gambar 46. Menampilkan hasil	89
Gambar 47. Hasil <i>matching marker</i> teks berdasarkan jarak	123
Gambar 48. Hasil <i>matching marker</i> teks berdasarkan rotasi	124
Gambar 49. Hasil <i>matching marker</i> teks berdasarkan sudut pandang	125
Gambar 50. Hasil <i>matching marker</i> teks berdasarkan cahaya	126
Gambar 51. Hasil <i>matching marker</i> gambar berdasarkan jarak.....	127
Gambar 52. Hasil <i>matching marker</i> gambar berdasarkan rotasi.....	128
Gambar 53. Hasil <i>matching marker</i> gambar berdasarkan sudut pandang	129
Gambar 54. Hasil <i>matching marker</i> gambar berdasarkan cahaya.....	130
Gambar 55. Hasil <i>matching marker</i> gambar dan teks berdasarkan jarak	131
Gambar 56. Hasil <i>matching marker</i> gambar dan teks berdasarkan rotasi.....	132
Gambar 57. Hasil <i>matching marker</i> gambar dan teks berdasarkan sudut pandang	133
Gambar 58. Hasil <i>matching marker</i> gambar dan teks berdasarkan cahaya	134
Gambar 59. Grafik nilai rata-rata <i>pre-test</i> dan <i>post-test</i>	139
Gambar 60. Hasil <i>output uji paired sample t-test</i>	140

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Contoh data pengujian penelitian pertama.....	37
Tabel 2. Contoh data pengujian penelitian kedua	40
Tabel 3. Kebutuhan perangkat lunak	52
Tabel 4. Definisi <i>use case</i>	54
Tabel 5. Skenario <i>use case</i> menampilkan petunjuk	55
Tabel 6. Skenario <i>use case</i> menampilkan tentang aplikasi	56
Tabel 7. Skenario <i>use case</i> mulai	57
Tabel 8. Skenario <i>use case</i> materi.....	58
Tabel 9. Skenario <i>use case</i> pengertian mineral.....	58
Tabel 10. Skenario <i>use case</i> sifat fisik mineral.....	59
Tabel 11. Skenario <i>use case</i> sifat kimia mineral.....	60
Tabel 12. Skenario <i>use case</i> sifat optis mineral	61
Tabel 13. Skenario <i>use case</i> kuis	61
Tabel 14. Skenario <i>use case</i> keluar	62
Tabel 15. <i>Storyboard AR</i>	64
Tabel 16. Matriks citra RGB	71
Tabel 17. Matriks citra <i>grayscale</i>	71
Tabel 18. Hasil perhitungan <i>gaussian blur</i>	72
Tabel 19. Implementasi objek 3D	83
Tabel 20. Implementasi <i>marker</i> dan <i>rate</i> pada Vuforia	85
Tabel 21. <i>Task scenario</i>	91
Tabel 22. Pernyataan kuesioner	94
Tabel 23. <i>Black box testing</i> menampilkan petunjuk	99
Tabel 24. <i>Black box testing</i> menampilkan tentang aplikasi	100
Tabel 25. <i>Black box testing</i> mulai	101
Tabel 26. <i>Black box testing</i> materi.....	102
Tabel 27. <i>Black box testing</i> pengertian mineral.....	103
Tabel 28. <i>Black box testing</i> sifat fisik mineral.....	104
Tabel 29. <i>Black box testing</i> sifat kimia mineral.....	105
Tabel 30. <i>Black box testing</i> sifat optis mineral	106
Tabel 31. <i>Black box testing</i> kuis	107
Tabel 32. <i>Black box testing</i> keluar	108
Tabel 33. Hasil pengujian kompatibilitas aplikasi	109
Tabel 34. Hasil pengujian <i>marker</i> berdasarkan jarak.....	111
Tabel 35. Hasil pengujian <i>marker</i> berdasarkan rotasi.....	114
Tabel 36. Hasil pengujian <i>marker</i> berdasarkan sudut pandang	116
Tabel 37. Hasil pengujian <i>marker</i> berdasarkan cahaya	119
Tabel 38. Nilai <i>keypoint matching</i> tertinggi berdasarkan jarak	135
Tabel 39. Nilai <i>keypoint matching</i> tertinggi berdasarkan rotasi	135
Tabel 40. Nilai <i>keypoint matching</i> tertinggi berdasarkan sudut pandang	136
Tabel 41. Nilai <i>keypoint matching</i> tertinggi berdasarkan cahaya	137
Tabel 42. Hasil data nilai <i>pre-test</i> dan <i>post-test</i>	138
Tabel 43. Hasil <i>success rate</i>	142
Tabel 44. Hasil <i>time on task</i>	143
Tabel 45. Hasil <i>error rate</i>	144

Tabel 46. Hasil SEQ.....	145
Tabel 47. Hasil kuesioner.....	146
Tabel 48. Kriteria interpretasi skor berdasarkan interval.....	150
Tabel 49. Hasil kuesioner aspek manfaat aplikasi	150
Tabel 50. Hasil kuesioner aspek kemudahan aplikasi.....	152
Tabel 51. Hasil kuesioner aspek kemudahan aplikasi.....	153
Tabel 52. Hasil kuesioner aspek tampilan aplikasi	154

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
OSN	Olimpiade Sains Nasional
AR	<i>Augmented Reality</i>
3D	Tiga Dimensi
SIFT	<i>Scale Invariant Feature Transform</i>
NFT	<i>Natural Feature Tracking</i>
SDK	<i>Software Development Kit</i>
VS Code	<i>Visual Studio Code</i>
OpenCV	<i>Open Source Computer Vision</i>
DoG	<i>Difference of Gaussian</i>
SDLC	<i>Software Development Life Cycle</i>
AIMP	<i>Artificial Intelligence and Multimedia Processing</i>
SEQ	<i>Single Easy Question</i>
QCAR	<i>Qualcomm Augmented Reality</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Source code augmented reality</i>	163
Lampiran 2 Contoh <i>query image</i>	167
Lampiran 3 Contoh <i>train image</i>	168
Lampiran 4 <i>Source code</i> algoritma SIFT	171
Lampiran 5 Hasil pengujian algoritma SIFT	172
Lampiran 6 Soal <i>pre-test</i> dan <i>post-test</i>	262
Lampiran 7 <i>Task</i> skenario	265
Lampiran 8 Kuesioner.....	266
Lampiran 9 Berita acara seminar hasil.....	270
Lampiran 10 Berita acara sidang tutup	274
Lampiran 11 Lembar perbaikan skripsi	277

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas berkat, rahmat, karunia dan pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Implementasi Algoritma SIT pada Aplikasi Media Pembelajaran Macam-Macam Mineral Berbasis *Augmented Reality*” sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan jenjang Strata-1 di Departemen Teknik Informatika, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Sholawat serta salam penulis haturkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW yang telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman penuh dengan ilmu pengetahuan.

Penulis menyadari bahwa penyusunan dan penulisan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik tanpa adanya bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih banyak kepada:

1. Keluarga penulis, Ibu Berlian dan Bapak Ambo Tuwo selaku orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan, do'a, semangat, dan kasih sayang serta selalu sabar dalam mendidik penulis sejak kecil. Hasrullah Jaya Saputra selaku kakak kandung penulis yang selalu memberikan dukungan, do'a, dan semangat yang tiada hentinya.
2. Bapak A. Ais Prayogi Alimuddin, S.T., M.Eng. selaku pembimbing I dan Ibu Prof. Dr. Eng. Intan Sari Areni, S.T., M.T. selaku pembimbing II, yang senantiasa menyediakan waktu, tenaga, pikiran dan bimbingan dalam mengarahkan penulis untuk menyelesaikan tugas akhir.
3. Segenap Dosen dan Staff Departemen Teknik Informatika, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan.
4. Guru Pembimbing dan Calon Peserta OSN Kebumian SMAN 9 Luwu Timur yang telah membantu penulis dalam pengambilan data penelitian, mulai dari proses wawancara, uji coba aplikasi, hingga pengisian data kuisioner.
5. Untuk Rifki yang juga telah membantu penulis dalam pengambilan data dan menjadi *support system* selama pengerjaan tugas akhir berlangsung.
6. Teman-teman AIMP *Research Group* Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bantuan selama penelitian dan diskusi terkait penyusunan tugas akhir.
7. Saudara-saudari *Synchronous* 2018 yang telah memberikan nasihat, bantuan, dan semangat selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
8. Sahabat seperjuangan semasa kuliah, Nana, Ayu, Tami, Kamtina, Hikmah, Eki, dan Reza yang telah membantu dan memberikan semangat serta hiburan di masa-masa sulit penyelesaian tugas akhir.
9. Serta pihak-pihak lain yang tidak disebutkan dan tanpa sadar telah menjadi inspirasi dan membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

Penulis berharap semoga Allah SWT berkenan membalas segala bentuk bantuan dan kebaikan dari semua pihak yang turut membantu penyelesaian skripsi

ini sebagai amalan ikhlas yang akan bermanfaat kelak. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan yang membangun dari berbagai pihak. Semoga tugas akhir ini dapat memberi manfaat bagi para pembaca dan semua pihak. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahamatullahi Wabarakatuh.

Gowa, 23 Mei 2023

Penulis

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

OSN atau Olimpiade Sains Nasional merupakan ajang yang memungkinkan pelajar untuk dapat menggali kemampuan dalam bidang Sains, dimana kompetensi ini terdiri dari beberapa bidang, seperti Matematika, Fisika, Kimia, Kebumian, Informatika/Komputer, Biologi, Astronomi, Ekonomi, dan berbagai disiplin ilmu lainnya (Rohmawati, 2022). Setiap bidang memiliki ciri khas masing-masing. Salah satu bidang yang paling unik dan menantang dalam OSN jenjang SMA/Sederajat adalah Kebumian. Keunikan dan tantangan tersebut dapat ditunjukkan dari berbagai sudut pandang seperti ruang lingkup kajian kebumian, tingkat kesulitan soal, dan eksistensi kebumian di mata peserta didik atau peserta OSN (Pranata, 2023). Salah satu materi OSN Kebumian adalah mineral. Mineral merupakan salah satu materi OSN Kebumian dan selalu masuk dalam soal tiap tahunnya. Peserta OSN Kebumian setidaknya harus menguasai materi mineral selain melalui buku ajar, internet, maupun penjelasan langsung guru pembimbing.

Mineral dapat didefinisikan sebagai bahan padat, anorganik, yang terbentuk secara alamiah di alam, kristalin (yaitu yang secara kimia homogen dengan bentuk geometri tetap, sebagai gambaran dari susunan atom yang teratur, dibatasi oleh bidang banyak (*polyhedron*), jumlah dan kedudukan bidang-bidang kristalnya tertentu dan teratur). Salah satu kelompok mineral adalah mineral utama pembentuk batuan yang merupakan mineral berada di dalam tubuh batu sebagai penyusun utamanya (kumpulan mineral yang memiliki sifat kimia yang sama membentuk batu, batu-batu menyusun batuan) (Mulyaningsih, 2018). Beberapa mineral utama pembentuk batuan diantaranya adalah *feldspar*, *plagioklas*, *ortoklas*, *mika*, *muskovit*, *biotit*, *amfibol*, *hornblende*, *piroksen*, *augit*, *olivin*, dan *kuarsa*.

Penggunaan buku yang di dalamnya terdapat gambar 2D yaitu kurang jelasnya gambar dan informasi yang ada dalam buku sumber tersebut. Selain itu keterbatasan jumlah dari buku sumber yang ada. Hal tersebut dianggap masih kurang efektif dan belum mampu meningkatkan antusiasme siswa untuk

mempelajari materi tersebut sehingga terlihat dari interaktif siswa yang masih kurang dari yang diharapkan (Nurudin dkk, 2021).

Berdasarkan wawancara yang dilakukan terhadap Guru Geografi sekaligus Pembimbing OSN Kebumian SMAN 9 Luwu Timur, menyatakan bahwa mineral merupakan salah satu materi OSN Kebumian yang memiliki tingkat kesulitan tinggi dan sering muncul pada soal OSN Kebumian. Namun, karena tidak adanya bentuk fisik mineral yang seharusnya dijadikan bahan pengamatan secara langsung sehingga menyebabkan peserta kesulitan belajar.

Perkembangan teknologi dari waktu ke waktu semakin canggih pada berbagai bidang kehidupan sehari-hari atau pembelajaran, salah satunya yaitu teknologi baru bernama *Augmented Reality* (AR). *Augmented reality* dikenal sebagai penggabungan benda-benda nyata dan maya tiga dimensi (3D) di lingkungan nyata, berjalan secara interaktif dalam waktu nyata. AR juga dapat diartikan sebagai suatu teknologi yang menambahkan objek *virtual* ke dalam lingkungan nyata secara *real time* sehingga batas di antara keduanya menjadi sangat tipis. Dengan kebaharuan teknologi khususnya AR, kini berbagai macam media pembelajaran telah menerapkan teknologi *augmented reality* (Saputra dkk, 2021).

Salah satu algoritma yang digunakan dalam teknologi AR adalah algoritma *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT), yaitu algoritma dalam visi komputer untuk mendeteksi dan mendeskripsikan fitur lokal dalam gambar (Priantama, 2020). Pada penelitian ini, algoritma yang akan digunakan yaitu algoritma SIFT.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dengan mengandalkan kemajuan di bidang teknologi khususnya berbasis AR, penulis mengusulkan judul **“Implementasi Algoritma SIFT pada Aplikasi Media Pembelajaran Macam-Macam Mineral Berbasis *Augmented Reality*”**.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana membuat sebuah aplikasi media pembelajaran macam-macam mineral untuk peserta OSN Kebumian SMAN 9 Luwu Timur dengan menerapkan *augmented reality* berbasis Android?

2. Bagaimana unjuk kerja algoritma SIFT pada *augmented reality* media pembelajaran macam-macam mineral untuk peserta OSN Kebumian SMAN 9 Luwu Timur?
3. Bagaimana tingkat kepuasan pengguna terhadap sistem yang dibuat?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk membuat sebuah aplikasi media pembelajaran macam-macam mineral peserta OSN Kebumian SMAN 9 Luwu Timur dengan menerapkan *augmented reality* berbasis Android?
2. Untuk mengetahui unjuk kerja algoritma SIFT pada *augmented reality* media pembelajaran macam-macam mineral untuk peserta OSN Kebumian SMAN 9 Luwu Timur.
3. Untuk menganalisis tingkat kepuasan pengguna terhadap sistem yang dibuat

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan pengalaman belajar baru kepada peserta OSN Kebumian SMAN 9 Luwu Timur melalui aplikasi *augmented reality*.
2. Membantu guru pembimbing OSN Kebumian SMAN 9 Luwu Timur dalam menjelaskan materi tentang mineral.
3. Membantu peserta OSN Kebumian SMAN 9 Luwu Timur dalam mengamati dan memahami materi tentang mineral.
4. Menambah pengetahuan dan wawasan baru kepada penulis.

1.5 Ruang Lingkup

1. *Augmented reality* macam-macam mineral SMAN 9 Luwu Timur dibuat menggunakan *engine* Blender dan Unity 3D
2. Mineral yang disimulasikan dalam pembelajaran ini adalah hanya mineral utama pembentuk batuan.
3. Informasi mencakup deskripsi, bentuk, dan sifat fisik mineral.
4. Algoritma yang digunakan adalah SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*).

5. Algoritma SIFT diterapkan dalam menentukan kualitas *marker* terbaik.
6. Parameter yang digunakan adalah jarak, rotasi, sudut pandang, dan cahaya.
7. Algoritma SIFT hanya untuk pemahaman kerja pada Vuforia

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mineral

2.1.1 Pengertian Mineral

Menurut Mulyaningsih (2018), mineral dapat didefinisikan sebagai bahan padat, anorganik, yang terbentuk secara alamiah, kristalin (yaitu yang secara kimia homogen dengan bentuk geometri tetap, sebagai gambaran dari susunan atom yang teratur, dibatasi oleh bidang banyak (*polyhedron*), jumlah dan kedudukan bidang-bidang kristalnya tertentu dan teratur). Mengacu pada pengertian tersebut, mineral dapat dijabarkan memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. “Alami dan Alamiah” yang berarti setiap benda yang terbentuknya di mana saja di alam, asalkan terbentuknya secara alami dan keberadaannya alamiah.
2. “Padat homogen” berarti memiliki komposisi kimia tertentu dan homogen dengan sifat fisik yang tetap.
3. “Memiliki komposisi yang pasti” yang berarti tersusun atas atom atau kelompok atom dengan rasio tertentu dan tetap.
4. “Kristalin atau tersusun atas kristal-kristal sejenis” yang berarti setiap mineral tersusun atas kristal-kristal yang sejenis, dengan susunan/geometri atom tertentu.
5. “Proses pembentukannya secara anorganik” berarti benda padat yang dibentuk oleh organisme bukan termasuk mineral.

Manfaat mineral dilihat dari aplikasi kehidupan sehari-hari diantaranya yaitu material yang kita gunakan sebagai bahan perhiasan, alat bantu penglihatan, alat tulis, pasta gigi dan kosmetik, dll. Mineral yang bersentuhan dengan aktifitas kehidupan kita sehari-hari dapat berwujud material sederhana seperti: keramik pecah belah dan bahan bangunan, tapi juga dapat hadir sebagai dalam bentuk yang lebih kompleks berupa alat elektronik seperti gadget, komputer, baterai, kabel listrik, dll (Meirawaty dkk, 2021).

Beberapa mineral ditemukan di batuan beku, namun ada yang yang bisa disebut mineral pembentuk batuan yang terbagi menjadi dua bagian yaitu mineral umum/utama dan mineral aksesori pembentuk batuan. Mineral umum/utama pembentuk batuan diantaranya adalah *kuarsa*, *feldspar*, *mika*, *piroksen*, *amphibol*, dan *olivine* (Hurlbut, 1944).

2.1.2 Sifat Fisik Mineral

Sifat fisik mineral adalah kenampakan fisik mineral yang dapat diamati tanpa menggunakan bantuan alat. Sifat fisik mineral meliputi warna, cerat, perawakan, bentuk, kilap, kekerasan dan berat jenis. Sifat fisik mineral umumnya dapat dikenali pada tubuh mineral yang berukuran makro, sedangkan untuk mineral yang berukuran mikro akan lebih sulit dikenali tanpa bantuan alat pembesar. Sifat fisik mineral mencerminkan pertumbuhan mineral, sifat-sifatnya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan geologi dimana mineral tersebut terbentuk (pada kondisi oksidasi atau reduksi), asosiasi mineral tersebut dengan mineral yang menyertainya, dan mekanisme pembentukannya.

1. Warna Mineral

Warna mineral adalah warna yang ditunjukkan oleh mineral secara fisik, bersifat tidak tetap karena dipengaruhi oleh susunan pertumbuhannya, sifat lingkungan geologi di mana mineral dibentuk, dan kemungkinan pengotoran mineral yang mungkin terjadi selama mineral tersebut berada dalam lingkungan geologi tersebut.

2. Cerat

Cerat adalah warna sebenarnya dalam suatu mineral. Warna cerat kadang-kadang berbeda dengan warna mineralnya. Namun, tidak sedikit pula mineral menunjukkan warna perawakannya.

3. Bentuk Kristal dan Bentuk Mineral

Bentuk kristal ditentukan dari susunan kimia unsur yang menyusun internal kristal. Susunan internal kristal menentukan susunan eksternalnya, atau susunan eksternal kristal mencerminkan

susunan internalnya. Bentuk mineral adalah bentuk dasar dari susunan/bangun mineral. Bentuk mineral dapat sama dengan bentuk kristal, jika pertumbuhannya sempurna maka akan memiliki bentuk sama dengan bentuk kristalnya, namun jika pertumbuhan mineral tidak sempurna maka tidak akan memiliki bentuk yang sama dengan bentuk kristalnya.

4. Kilap

Kilap adalah refleksi mineral dalam menangkap sinar, ada dua jenis kilap yaitu metalik dan non-metalik.

5. Kekerasan

Sifat kekerasan mineral penting untuk diketahui terkait dengan kegunaan, resistensi dan mekanisme kristalisasinya.

6. Belahan dan Pecahan

Belahan adalah pecahan mineral yang selalu mengikuti bentuk dan susunan kristal sedangkan pecahan tidak mengikuti bentuk kristal. Belahan ada yang sempurna searah, dua arah dan tiga arah, kurang sempurna dan tidak sempurna.

7. Pecahan

Ketika tekanan (dalam bentuk pukulan, tarikan, puntiran atau gesekan) diberikan terhadap suatu mineral, sedangkan ikatan antar atom di sekitar area yang dikenai tekanan tersebut sama di semua arah dalam mineral tersebut, maka akan terjadi kerusakan. Kerusakan atau pecahan dengan permukaan tidak teratur disebut *splintery* atau fraktur tidak teratur, jika permukaannya halus disebut *smoothly*, jika permukaannya melengkung seperti potongan/pecahan kaca yang tebal disebut *conchoidal*.

8. Sifat lain

a. Tenacity: reaksi mineral terhadap gaya yang mengenainya, contoh: rapuh (*brittle*), dapat dipotong (*sectile*), dapat dipintal (*ductile*), dapat ditempa (*malleable*), kenyal/lentur (*plastic*) dan fleksibel (dapat dibentuk sebagai apapun).

- b. Magnetisme: beberapa mineral memiliki sifat kemagnetan, contoh: mineral logam.
- c. Sentuhan: beberapa mineral seperti *talk* dan *granit*, berasa berminyak atau licin saat digosok jari. Sifat berminyak terjadi karena ikatan yang sangat lemah dalam satu arah.
- d. Rasa: salah satu tes terakhir yang dilakukan, karena beberapa mineral bersifat beracun, contoh: *halit* berasa asin, *silvit* berasa pahit.

2.2 Konsep Dasar *Augmented Reality*

Menurut survei yang dilakukan oleh Azuma (1997) menjelaskan AR sebagai sistem yang memiliki tiga karakteristik sebagai berikut:

1. Menggabungkan dunia nyata dan virtual
2. Interaktif secara real time
3. Terdaftar dalam 3D

Penelitian *augmented reality* bertujuan untuk mengembangkan teknologi yang memungkinkan perpaduan waktu nyata dari konten digital yang dihasilkan komputer dengan dunia nyata (Haller dkk, 2007).

Augmented reality memperbolehkan pengguna melihat objek maya dua dimensi atau tiga dimensi yang diproyeksikan terhadap dunia nyata. Teknologi *augmented reality* ini dapat menyisipkan suatu informasi tertentu ke dalam dunia maya dan menampilkannya di dunia nyata dengan bantuan perlengkapan seperti *webcam*, komputer, HP Android, maupun kacamata khusus. User maupun pengguna di dalam dunia nyata tidak dapat melihat objek maya dengan mata telanjang, untuk mengidentifikasi objek dibutuhkan perantara berupa komputer dan kamera yang nantinya akan menyisipkan objek maya ke dalam dunia nyata (Khomaeni, 2020).

2.2.1 Tujuan dan Fungsi *Augmented Reality*

Dalam buku “*Handbook of Augmented Reality*” editor oleh Furht (2011) menjelaskan bahwa *augmented reality* bertujuan menyederhanakan kehidupan pengguna dengan membawa informasi

virtual tidak hanya ke lingkungan terdekatnya, tetapi juga ke pandangan tidak langsung dari lingkungan dunia nyata, seperti *streaming* video langsung. AR meningkatkan persepsi dan interaksi pengguna dengan dunia nyata. Teknologi AR menambah rasa realitas dengan melapiskan objek *virtual* dan memberi isyarat untuk membuka dunia nyata secara *real time*.

Sementara fungsi *augmented reality* memiliki banyak kemungkinan untuk digunakan dengan cara yang inovatif seperti pada bidang iklan dan komersial, hiburan dan pendidikan, kesehatan, dan aplikasi mobile untuk iPhone. Beberapa contoh pengaplikasian *augmented reality* (AR):

1. *Augmented reality* banyak digunakan oleh pemasar untuk mempromosikan produk baru secara online.
2. Beberapa aplikasi *smartphone* yang menggunakan AR untuk tujuan hiburan dan/atau pendidikan.
3. Penggunaan *augmented reality* untuk membantu operasi.
4. Banyak aplikasi AR untuk iPhone sudah tersedia seperti aplikasi yang memungkinkan pengguna untuk tetap memperhatikan jalan sambil melirik GPS.

2.2.2 Metode Augmented Reality

Augmented reality memiliki dua metode yang dikembangkan saat ini yaitu *Marker Based Tracking* dan *Markerless*. Tentunya dari dua metode ini memiliki perbedaan. Pengertian masing-masing metode yaitu sebagai berikut:

1. *Marker Based Tracking* adalah AR yang menggunakan *marker* atau penanda objek dua dimensi yang memiliki suatu pola yang akan dibaca komputer melalui media *webcam* atau kamera yang tersambung dengan komputer, biasanya merupakan ilustrasi hitam dan putih persegi dengan batas hitam tebal dan latar belakang putih. Komputer akan mengenali posisi dan orientasi *marker* dan

menciptakan dunia *virtual* 3D yaitu titik (0,0,0) dan tiga sumbu yaitu X, Y, dan Z

2. *Markerless* merupakan salah satu metode AR tanpa menggunakan *frame marker* sebagai objek yang dideteksi. Dengan adanya *markerless augmented reality*, maka penggunaan *marker* sebagai *tracking object* yang selama ini menghabiskan ruang, akan digantikan dengan gambar, atau permukaan apapun yang berisi dengan tulisan, logo, atau gambar sebagai *tracking object* (objek yang dilacak) agar dapat langsung melibatkan objek yang dilacak tersebut sehingga dapat terlihat hidup dan interaktif, juga tidak lagi mengurangi efisiensi ruang dengan adanya *marker* (Wardhana, 2019).

- a. *Face Tracking*

Dengan menggunakan algoritma yang telah dikembangkan, komputer dapat mengenali wajah manusia secara umum dengan cara mengenali posisi mata, hidung dan mulut manusia, kemudian akan mengabaikan objek-objek lain di sekitarnya seperti pohon, rumah dan benda-benda lainnya.

- b. *3D Object Tracking*

Berbeda dengan *face tracking* yang hanya mengenali wajah manusia secara umum, Teknik *3D object tracking* dapat mengenali semua bentuk benda yang ada di sekitar, seperti mobil, meja, televisi dan lain-lain.

- c. *Motion Tracking*

Teknik komputer ini dapat menangkap gerakan, *motion tracking* telah mulai digunakan secara ekstensif untuk memproduksi film-film yang mencoba mensimulasikan Gerakan. Contohnya pada film Avatar, dimana James Cameron menggunakan teknik ini untuk membuat film tersebut dan menggunakannya secara *realtime* (Wicaksono, 2014).

2.2.3 *Augmented Reality* dalam Dunia Pendidikan

Menurut Yuen dkk (2011) *augmented reality* diklasifikasikan ke dalam lima kelompok di bidang pendidikan:

1. Buku *Augmented Reality*

Buku *augmented reality* biasanya menawarkan berbagai tampilan 3D yang menarik dan interaktif untuk pengalaman melalui teknologi *augmented reality*. Implementasi yang menarik buat pelajar dalam mengetahui jenis media digital.

2. Game *Augmented Reality*

Teknologi *augmented reality* membangun *game* yang berlangsung di dunia nyata besertakan informasi *virtual*. Dengan adanya pengajar dengan tingkat interaktif dan visual dapat menunjukkan hubungan antara *augmented reality* dengan pendidikan.

3. Penunjang Bahan Ajar

Augmented reality dapat menyediakan bahan ajar untuk menambah wawasan pengguna. Informasi yang didapat oleh pengguna berupa tempat dunia nyata yang bersamaan dengan memperhatikan objek yang unik. Contohnya dalam aplikasi yang digunakan oleh museum.

4. Modeling Objek

Augmented reality meragakan objek dalam aplikasi. Aplikasi yang membuat arus umpan timbal balik kepada siswa. Siswa juga dapat mendesain objek 3D dalam rangka menelusuri sifat fisis atau interaksi terhadap objek.

5. Pelatihan keterampilan

Pengguna biasanya ditunjukkan pelatihan keterampilan mekanik. Contoh penerapannya adalah dalam pemeliharaan pesawat, aplikasi akan menampilkan bagaimana cara-cara memperbaiki dan memelihara pesawat yang diperlukan.

2.3 Vuforia Augmented Reality

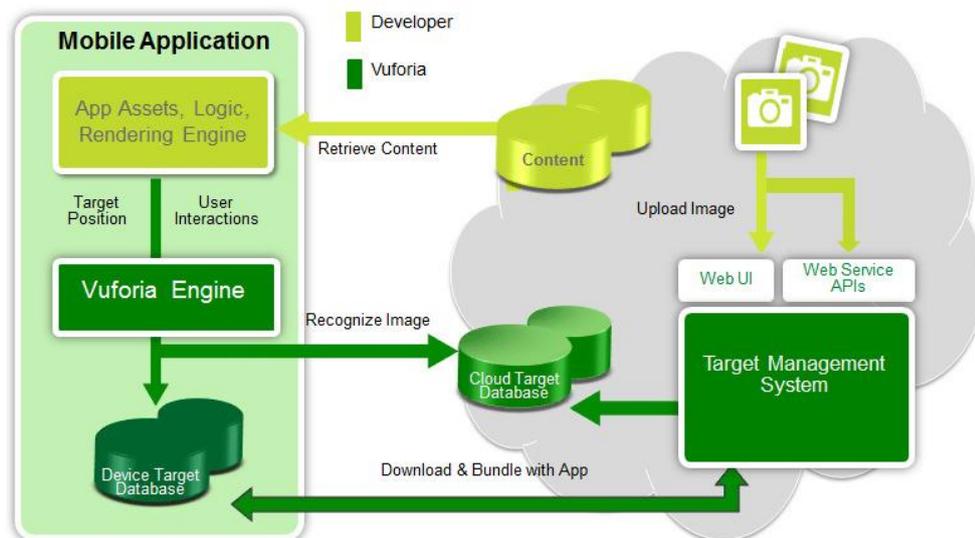
2.3.1 Vuforia

Vuforia merupakan salah satu *library* untuk *augmented reality*, yang menggunakan sumber konsisten mengenai *computer vision* yang fokus pada *image recognition*. Vuforia mempunyai banyak fitur-fitur dan kemampuan yang dapat membantu pengembang untuk mewujudkan pemikiran mereka tanpa adanya batas secara teknis.

Vuforia mendukung pengembang untuk membuat aplikasi yang dapat digunakan di hampir seluruh jenis *smartphone* dan tablet. Pengembang juga diberikan kebebasan untuk mendesain dan membuat aplikasi yang mempunyai kemampuan antara lain:

1. Teknologi *computer vision* tingkat tinggi yang mengizinkan *developer* untuk membuat efek khusus pada *mobile device*
2. Dapat secara terus-menerus mengenali *multiple image*
3. *Tracking* dan *detection* tingkat lanjut
4. Solusi pengaturan *database* gambar yang fleksibel

Berikut adalah gambaran dari struktur Vuforia, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Vuforia
Sumber: Wicaksono (2014)

Target pada Vuforia merupakan objek pada dunia nyata yang dapat dideteksi oleh kamera, untuk menampilkan objek *virtual*. Beberapa jenis target pada Vuforia adalah:

1. *Image targets*, contoh: foto, papan permainan, halaman majalah, sampul buku, kemasan produk, poster, kartu ucapan. Jenis target ini menampilkan gambar sederhana dari *augmented reality*.
2. *Frame markers*, tipe *frame* gambar 2D dengan *pattern* khusus yang dapat digunakan sebagai potongan permainan di permainan pada papan.
3. *Multi-target*, contohnya kemasan produk atau produk yang berbentuk kotak ataupun persegi. Jenis ini dapat menampilkan gambar sederhana *augmented 3D*.
4. *Virtual buttons*, yang dapat membuat tombol daerah kotak sebagai sasaran gambar

2.3.2 Vuforia SDK

Vuforia memerlukan beberapa komponen penting agar dapat bekerja dengan baik. Komponen-komponen tersebut yaitu:

1. Kamera

Spesifikasi kamera cukup dengan menggunakan kamera tunggal. Kamera mengambill gambar untuk melacak *marker* dan kemudian melakukan registrasi *marker*. Pengembang dapat mengaturnya ketika memulai dan menghentikan pengambilan gambar.

2. *Image Converter*

Gambar akan dikonversi dari YUV 12 ke format RGB565 untuk OpenGL ES kemudian mengatur pencahayaan untuk pelacakan *marker*.

3. *Tracker*

Menggunakan algoritma *computer vision* untuk mendeteksi dan melakukan pelacakan objek nyata yang diambil dari kamera.

Objek tersebut dievaluasi dan hasilnya akan disimpan yang kemudian akan diakses oleh aplikasi.

4. *Renderer*

Digunakan untuk melakukan *rendering* hasil objek yang ditangkap oleh kamera ke video yang dimaksudkan untuk optimasi *device*.

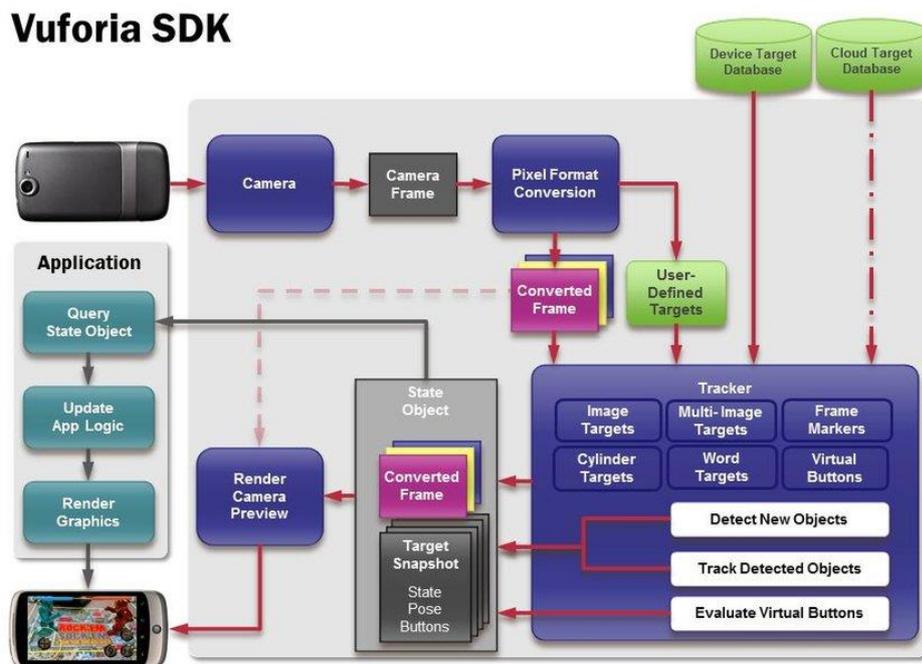
5. *Application Code*

Application code melibatkan inisialisasi dari semua komponen di atas. Selama objek yang dikehendaki diubah prosesnya maka *application code* harus diubah berdasarkan lokasi objek *virtual*.

6. *Target Resources*

Target resources dihasilkan dari *target management system*. Keluaran yang dihasilkan dari sistem berupa file *binary* yang menyimpan pola *marker* dan file konfigurasi XML dan semuanya digabung dalam sebuah aplikasi.

Berikut adalah gambaran dari diagram aliran data Vuforia, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram aliran data Vuforia

Sumber: Wicaksono (2014)

1. *Camera*

Digunakan untuk menangkap gambar per-*frame* kemudian mempersiapkan format dan ukurannya (*pixel*) menghasilkan "camera-frame"

2. *Pixel Format Conversion*

Setiap kamera *smartphone* memiliki format yang berbeda seperti YUV, RGB, CMYK, dan lain-lain. Oleh karena itu harus di *convert* menjadi format yang dapat diolah dengan baik oleh Vuforia yang berbasis OpenGL, kemudian menghasilkan "converted frame" yaitu format yang siap diolah oleh Vuforia.

3. *Tracker*

Merupakan *engine* inti dari Vuforia, yang berisi algoritma *computer vision* yaitu SIFT dan Ferns dengan metode NFT (*Natural Feature Tracking*). Sehingga dapat melakukan *tracking* objek yang ada di dunia nyata (*converted frame*). *Tracking marker* dapat dilakukan pada benda seperti gambar 2D ataupun benda lainnya seperti meja, kursi, dan sebagainya. *Marker* yang dapat di *tracking* berasal dari *database* yang sudah dibuat sebelumnya, yaitu *cloud* ataupun pada *smartphone*.

4. *Application*

Merupakan tahapan Pembangunan aplikasi bagi *developer*, pada bagian ini dilakukan pengolahan terhadap Pembangunan aplikasi misalnya *coding*, mengatur *event* atau *action* yang dibutuhkan, serta mengatur objek yang akan ditampilkan pada aplikasi.

2.3.3 Vuforia API References

API *references* berisi informasi tentang hirarki kelas dan fungsi *member* dari QCAR (Qualcomm AR) SDK. Sistem *high-level* pada Vuforia dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sistem *high-level* pada Vuforia
Sumber: Wicaksono (2014)

Sebuah gambaran dari SDK yang ditampilkan pada gambar di atas menyediakan:

1. *Callbacks events* (contoh: sebuah gambar kamera baru tersedia)
2. *High-level access to hardware units* (contoh: kamera mulai/stop)
3. *Multiple trackables*/jenis pelacakan yaitu dapat melalui:
 - a. *Image Targets*
Dapat mengenali gambar dengan detail yang cukup termasuk majalah, iklan atau brosur serta kemasan yang tertera pada produk.
 - b. *Multi Targets*
Dapat mengenali lebih dari satu *marker* secara bersamaan.
 - c. *Cylinder Targets*
Dapat mengenali benda seperti botol, cangkir, kaleng, dan sebagainya.
 - d. *Word Targets*
Mendukung pengenalan kata bahasa Inggris dari *database* standar 100.000 kata atau kosa kata kustom didefinisikan oleh pengembang
 - e. *Frame Markers*
ID unik dari *frame marker* dikodekan ke dalam pola biner sepanjang perbatasan gambar *marker*. Sebuah *frame marker* memungkinkan gambar apapun untuk ditempatkan dalam batas-batas *marker*.

4. *Real-world interactions* (contoh: penggunaan *virtual button* agar dapat berinteraksi dengan objek) (Wicaksono, 2014).

2.3.4 *Image Target*

Image target merupakan gambar yang dapat dideteksi dan dilacak oleh Vuforia SDK. Tidak seperti *marker* tradisional, kode matriks data, dan kode QR, *image target* tidak perlu berwarna hitam dan putih atau memiliki kode untuk dapat dikenali. Vuforia SDK menggunakan algoritma yang canggih untuk mendeteksi dan melacak fitur secara alami yang ditemukan di dalam gambar itu sendiri. Vuforia SDK mengenali *image target* dengan cara membandingkan fitur alami pada *image target* terhadap *database resource* yang telah didaftarkan (diupload) sebelumnya. Setelah *image target* terdeteksi, SDK akan melacak gambar menggunakan kamera *device*. *Image target* dapat dibuat dan digunakan dalam tiga cara yang berbeda, yaitu:

1. Membuat *image target* dengan *Target Manager* yang digunakan dalam perangkat *database*
2. Membuat *image target* menggunakan *cloud recognition databases*
3. *Image target* dibuat pada saat aplikasi sedang berjalan melalui kamera dan secara dinamis ditambahkan pada perangkat *database*

Image target dapat dibuat secara *online* melalui *Target Manager* dari gambar bertipe JPG atau PNG (hanya gambar RGB atau *grayscale* yang *support*) dengan ukuran maksimal 2 MB. Fitur diekstrak dari gambar-gambar yang disimpan dalam *database* dan kemudian dapat didownload dan digunakan dalam aplikasi. *Database* kemudian dapat digunakan oleh Vuforia untuk perbandingan pada saat aplikasi dijalankan. Pada saat *runtime*, Vuforia SDK dapat mendeteksi dan melacak hingga lima target secara simultan. Performanya akan bergantung pada beban *processor* dan GPU (Siswantoko, 2015).

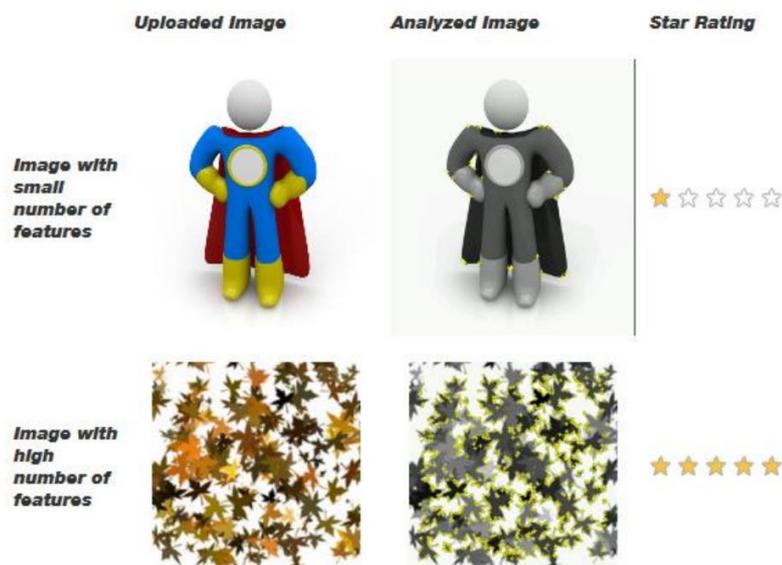
2.3.5 *Natural Features and Rating*

Rating dalam hal ini mendefinisikan seberapa baik gambar dapat dideteksi dan dilacak menggunakan Vuforia SDK. Penilaian ini ditampilkan pada *Target Manager* setelah gambar yang akan dijadikan target diupload

melalui API di web Vuforia. Pemberian *rating* berkisar dari 0 sampai 5 untuk setiap gambar. Semakin tinggi *rating* dari gambar target, maka semakin kuat kemampuan deteksi dan pelacakannya yang dikandungnya. *Rating* 0 menunjukkan bahwa target tidak dapat dilacak sama sekali oleh sistem AR, sedangkan *rating* Bintang 5 menunjukkan bahwa gambar mudah dilacak oleh sistem AR.

1. *Features*

Sebuah fitur merupakan tajam, berduri, detail dipahat dalam gambar, seperti yang ada pada benda-benda bertekstur. *Image analyzer* mengumpamakan fitur sebagai tanda panah kecil berwarna kuning. Tingkatkan detail pada gambar yang ingin digunakan dan pastikan bahwa rincian tidak membuat pola yang berulang. Melihat lebih jelas perbandingan antara gambar yang memiliki banyak fitur dengan gambar yang memiliki sedikit fitur dapat dilihat pada Gambar 4.



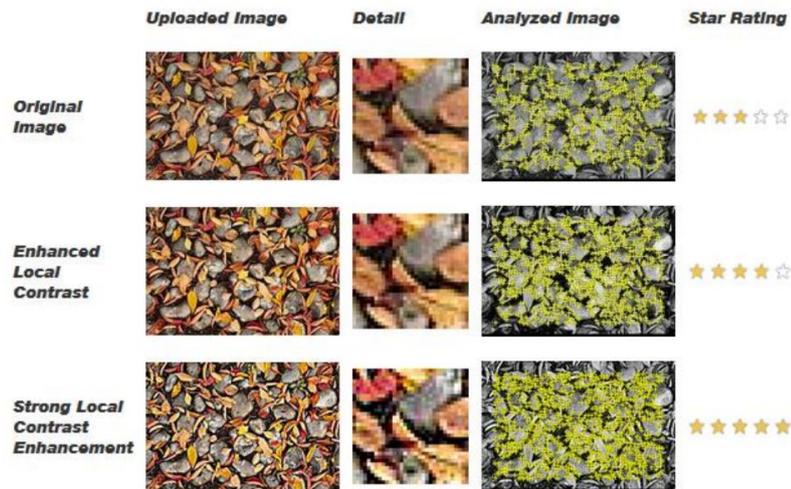
Gambar 4. Perbandingan *features*

Sumber: Siswantoko (2015)

Gambar memperlihatkan fitur yang dihasilkan dari gambar yang memiliki sudut tajam dan detail yang banyak akan menghasilkan fitur yang banyak juga dan hal itu pun akan berpengaruh pada *rating* yang didapatnya.

2. *Local Contrast*

Baik atau buruknya *local contrast* seringkali sulit untuk dideteksi dengan mata saja. Meningkatkan kontras gambar secara umum, atau memilih gambar dengan sisi yang lebih rinci. Bentuk organik, detail bulat, *blur*, atau gambar yang dikompresi sering tidak memberikan hasil yang cukup secara rinci untuk dideteksi dan dilacak dengan benar.



Gambar 5. Pengaturan kontras
Sumber: Siswantoko (2015)

Gambar menjelaskan bahwa dengan melakukan pengaturan pada kontras gambar dapat meningkatkan jumlah fitur yang dihasilkan sehingga meningkatkan *rating* gambar tersebut.

3. *Feature Distribution*

Semakin seimbang distribusi fitur dalam gambar, semakin baik gambar tersebut dapat dideteksi dan dilacak. Pastikan bahwa fitur terdistribusi di seluruh gambar. Pertimbangkan untuk melakukan *cropping* pada sebuah gambar untuk menghapus area tanpa fitur seperti pada Gambar 6.



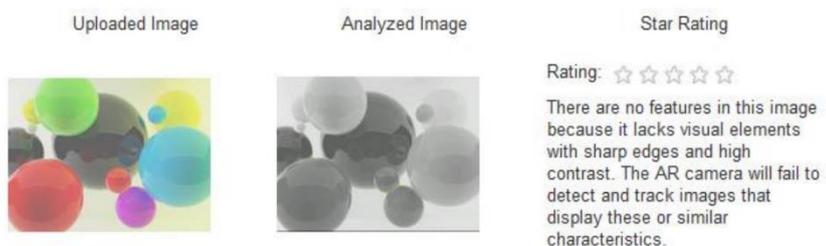
Gambar 6. Distribusi fitur

Sumber: Siswantoko (2015)

Gambar menggambarkan bahwa salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mendapatkan distribusi fitur yang seimbang dalam sebuah gambar adalah dengan cara *cropping* pada bagian yang menghasilkan banyak fitur dan itu akan jauh lebih baik dalam pelacakannya.

4. *Avoid Organic Shapes*

Biasanya, bentuk-bentuk organik yang halus atau rincian yang mengandung aspek kabur/*blur* atau kompresi yang sangat tinggi tidak memberikan detail yang cukup untuk dideteksi dan dilacak dengan benar dan memiliki jumlah fitur yang rendah.



Gambar 7. Bentuk organik

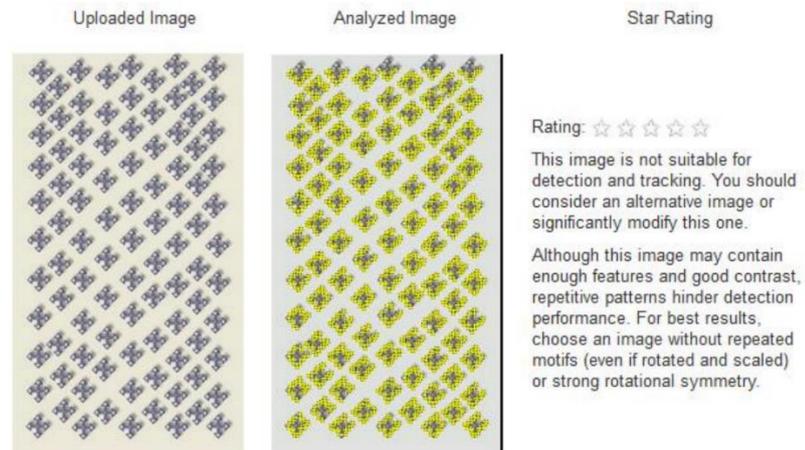
Sumber: Siswantoko (2015)

Gambar menggambarkan target dengan bentuk organik tidak memiliki fitur yang cukup untuk dideteksi dan dilacak.

5. *Avoid Repetitive Patterns*

Meskipun beberapa gambar mengandung cukup fitur dan kontras yang baik, pola berulang akan menghambat kinerja deteksi. Untuk hasil terbaik, pilih gambar tanpa motif berulang (bahkan jika diputar dan diperbesar) atau simetri rotasi yang kuat. Gambar

kotak-kotak adalah contoh dari pola berulang yang tidak dapat dideteksi, karena pasangan 2x2 kotak hitam dan putih tampak persis sama dan tidak dapat dibedakan oleh detektor.



Gambar 8. Pola berulang
Sumber: Siswantoko (2015)

Gambar menunjukkan bahwa gambar yang menghasilkan banyak fitur tapi memiliki pola yang berulang tidak dapat dideteksi oleh sistem (tidak memiliki *rating*) (Siswantoko, 2015).

2.5 Unity 3D

Mesin game Unity diperkenalkan oleh Unity Technologies pada tahun 2005 dan sejak itu menjadi salah satu *platform* paling populer untuk mengembangkan game 2D dan 3D. Fungsi yang didukung oleh Unity 3D sangat banyak. Unity 3D menghasilkan aplikasi berbasis pada *javascript* dan/atau *C#*. Ini digunakan untuk menetapkan animasi atau transisi *real-time* dari *Game-Objects* yang ditentukan dalam aplikasi. GUI dari Unity 3D membantu pengembang baru untuk melakukan pendekatan dengan mudah dan skrip dan programkan transisi *Game-Object* (Megha dkk, 2018).

Unity 3D menyediakan operasi antarmuka yang mudah digunakan, mendukung mesin fisika PhysX, sistem partikel, dan menyediakan fungsi *multiplayer online*. Unity 3D menurunkan ambang batas pengembangan game, dan bahkan game studio pribadi bukan lagi impian. Menggunakan Unity 3D untuk

perusahaan game juga dapat mempersingkat waktu pengembangan game dan mengurangi produksi biaya permainan (Du dkk, 2015).

Unity mendukung asset seni dan format file dari 3ds Max, Maya, Softimage, Blender, Modo, ZBrush, Cinema 4D, Cheetah 3D, Adobe Photoshop, Adobe Fireworks dan substansi algoritma. Aset ini dapat ditambahkan ke proyek game dan dikelola melalui antarmuka pengguna grafis Unity. Unity mendukung penyebaran ke berbagai *platform*. Dalam sebuah proyek, pengembang mengontrol pengiriman ke perangkat seluler, browser web, desktop, dan konsol. Unity juga memungkinkan spesifikasi kompresi tekstur dan pengaturan resolusi untuk setiap *platform* yang didukung game. *Platform* saat ini yang didukung termasuk untuk Windows, Mac, Linux/Steam OS, pemutar Web Unity, Android, Ios, Blackberry 10, Windows Phone 8, Tizen, aplikasi Windows Store, WebGL, PlayStation 4, PlayStation Vita, Wii U. Xbox One, Xbox 360, Android TV, Samsung Smart TV, Oculus Rift dan Gear VR (Megha dkk, 2018).

2.6 Blender 3D

Menurut Flavell (2010), Blender adalah paket studio pemodelan dan animasi 3D yang memiliki banyak fungsi. Beberapa tugas yang dapat dilakukan oleh Blender 3D diantaranya sebagai berikut.

1. Blender adalah pemodel 3D yang dapat membuat karakter untuk film
2. Blender memiliki alat tekstur yang kuat untuk mengecat permukaan model
3. Blender memiliki fungsi *rigging* dan animasi yang kuat. Model yang dibuat kemudian bisa dibuat untuk bergerak dan bertindak
4. Blender memiliki mesin rendering sendiri dan dapat dianggap sebagai penerangan yang lengkap layaknya studio untuk sebuah film. Ini juga menyediakan dukungan untuk penyaji eksternal seperti YafaRay dan LuxRender
5. Tidak seperti paket 3D lainnya, Blender memiliki modul pengomposisiannya sendiri, jadi film "*shot*" bisa dicampur. Blender juga memiliki editor urutan video yang unik sehingga memungkinkan untuk dipotong dan edit strip film tanpa harus bergantung pada aplikasi pihak ketiga tambahan untuk final tahap penyuntingan produksi

6. Selain itu, Blender juga memiliki rangkaian pembuatan game lengkap.

2.7 *Visual Studio Code*

Visual Studio Code (*VS Code*) adalah sebuah teks editor ringan dan handal yang dibuat oleh *Microsoft* untuk sistem operasi *multiplatform*, artinya tersedia juga untuk versi Linux, Mac, dan Windows. Teks editor ini secara langsung mendukung bahasa pemrograman *javascript*, *typescript*, dan *node.js*, serta bahasa pemrograman lainnya dengan bantuan *plugin* yang dapat dipasang via *marketplace Visual Studio Code* (seperti C++, C#, *python*, *go*, *java*, dst)

Banyak fitur yang disediakan oleh *Visual Studio Code*, diantaranya *Intellisense*, *Git Integration*, *Debugging*, dan fitur ekstensi yang menambah kemampuan teks editor. Fitur-fitur tersebut akan terus bertambah seiring dengan bertambahnya versi *Visual Studio Code*. Pembaruan versi *Visual Studio Code* ini juga dilakukan berkala setiap bulan, dan inilah yang membedakan *VS Code* dengan teks editor yang lain

Teks editor *VS Code* juga bersifat *open source*, yang mana kode sumbernya dapat dilihat dan berkontribusi untuk pengembangannya. Hal ini juga yang membuat *VS Code* menjadi favorit para pengembang aplikasi karena bisa ikut serta dalam proses pengembangan *VS Code* kedepannya (Permana dan Romadlon, 2019).

2.8 *Corel Draw*

Corel Draw didirikan oleh Dr. Michael Cowpland pada tahun 1985. *Corel Draw* dipasarkan oleh perusahaan Corel di Ottawa, Kanada. Pada awalnya, *Corel Draw* diluncurkan pada tahun 1989 dengan merilis *Corel Draw* versi 1.x dan 2.x yang beroperasi pada *platform* Windows. Setelah itu, dirilis versi 3.0 bersamaan dengan Microsoft Windows 3.1. Berjalan pada Microsoft Windows 3.1 mengubah *Corel Draw* menjadi sebuah program ilustrasi yang dapat menggunakan sistem instalasi lainnya tanpa adanya rekomendasi aplikasi pihak ketiga seperti Adobe Type Manager.

Corel Draw merupakan sebuah program komputer editor grafik vektor yang dikembangkan oleh *Corel Corporation*, perusahaan perangkat lunak yang berbasis

di Ottawa, Kanada. Secara umum, *Corel Draw* berfungsi untuk mengolah gambar dan banyak digunakan pada bidang publikasi, percetakan, dan bidang lain yang membutuhkan proses visualisasi (Fadhilah dkk, 2022).

2.9 OpenCV

OpenCV Python adalah perpustakaan binding Python desain untuk memecahkan masalah visi komputer. Ini adalah API Python untuk OpenCV. Itu dibangun untuk memberikan kesamaan infrastruktur untuk aplikasi dan untuk mempercepat penggunaan persepsi mesin.

Ini mendukung berbagai macam pemrograman Bahasa seperti C++, Java, dll, juga tersedia untuk *platform* yang berbeda untuk operasi kecepatan tinggi. OpenCV Python memanfaatkan perpustakaan NumPy yang sangat optimal untuk operasi numerik. Ini gratis dan dapat ditulis dalam bahasa apapun.

Area aplikasinya termasuk pengenalan sistem, identifikasi objek, pelacakan, dll. Termasuk sebuah perpustakaan pembelajaran mesin statistik yang berisi saraf jaringan, pohon keputusan dan algoritma maksimalisasi (Vyshnavi dan Malik, 2019).

2.10 *Natural Feature Tracking and Detection*

Pada salah satu forum tanya-jawab mengatakan bahwa situs web Vuforia tidak memberikan informasi rinci tentang algoritma pendeteksian gambar. Secara umum, ini adalah sekumpulan algoritma *Natural Feature Tracking* (NFT) (Saha, 2014). Selain itu, pada forum komunitas resmi Vuforia juga mengatakan bahwa QCAR menggunakan pendekatan NFT dan detail dari algoritma tersebut tidak tersedia (Muhammadgyan, 2012).

Natural feature tracking merupakan proses mendeteksi keberadaan *marker* dengan melihat semua fiturnya (Oktavia dkk, 2019). Dalam metode ini informasi yang diperlukan untuk tujuan pelacakan dapat diperoleh dengan cara *optical-flow* berbasis pencocokan *template* atau korespondensi fitur. *Optical flow* atau aliran optik adalah pola gerakan jelas benda, permukaan, dan tepi dalam adegan visual yang disebabkan oleh gerakan relatif antara pengamat (mata atau kamera) dan adegan. Dalam satu unsur diterapkan pendekatan pelacakan fitur alami didasarkan

pada versi modifikasi dari SIFT dan Ferns fitur *descriptor*. SIFT sangat baik dalam mengekstrak tetapi prosesor intensif bekerja karena komputasi, sementara Ferns menggunakan klasifikasi fitur yang cepat tetapi membutuhkan kapasitas memori yang besar. Berbeda dengan pencocokan fitur, pendekatan klasifikasi tidak didasarkan pada ukuran jarak, tetapi dilatih untuk mengoptimalkan pengenalan fitur pada gambar model asli (Wagner dkk, 2010). Klasifikasi Ferns menggunakan fitur biner yang membandingkan intensitas gambar di sekitar titik menarik (Wagner dkk, 2008). Dalam hal ini, pelaksanaan SIFT dan Ferns telah terintegrasi tetapi dengan signifikan modifikasi untuk membuat sebuah sistem pelacakan yang cocok untuk ponsel (Rahayu dkk, 2017).

2.11 Scale Invariant Feature Transform (SIFT)

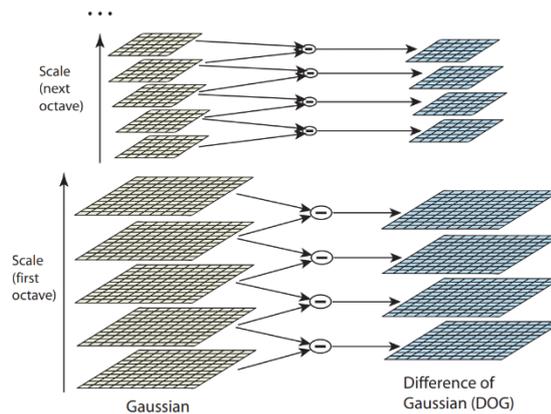
Scale Invariant Feature Transform (SIFT) adalah deskriptor gambar untuk pencocokan dan pengenalan berbasis gambar yang dikembangkan oleh David Lowe (1999, 2004). Deskriptor ini serta deskriptor gambar terkait digunakan untuk sejumlah besar tujuan dalam visi komputer terkait dengan pencocokan titik antara tampilan berbeda dari adegan 3D dan pengenalan objek berbasis tampilan. Deskriptor SIFT tidak berubah terhadap translasi, rotasi, dan transformasi penskalaan dalam domain gambar dan transformasi perspektif yang kuat hingga sedang dan variasi iluminasi. Secara eksperimental, deskriptor SIFT telah terbukti sangat berguna dalam praktiknya untuk pencocokan citra dan pengenalan objek dalam kondisi dunia nyata (Lindeberg, 2012). Pada salah satu *platform online* mengatakan bahwa Vuforia menggunakan teknik deteksi tepi. Misalkan ada lebih banyak simpul atau garis pada gambar dengan kontras tinggi daripada gambar dengan rating tinggi untuk Vuforia. Jadi, kita dapat menyatakan bahwa algoritma mereka relatif analog dengan SIFT (Anand, 2023).

Tujuan utama SIFT adalah mengubah data gambar menjadi koordinat titik kunci invariant skala atau mengekstrak titik-titik penting dari gambar. Selain mendeteksi titik-titik penting pada gambar, SIFT juga akan mendeskripsikan titik-titik penting tersebut yang menggambarkan karakteristik lokal di sekitar titik kunci. SIFT banyak digunakan untuk pengenalan objek sederhana dalam gambar (NPTEL-NOC IITM, 2020).

Berikut ini merupakan tahapan utama perhitungan yang digunakan untuk menghasilkan set fitur gambar menggunakan SIFT.

1. *Scale Space Extrema Detection*

Tahapan awal dari algoritma SIFT yaitu mencari nilai ekstrim pada skala ruang. Dimana citra akan ditentukan *keypoint*-nya dengan menggunakan persamaan *gaussian blur*.



Gambar 9. Ilustrasi *gaussian* dan *difference of gaussian*
Sumber: Lowe (2004)

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \quad (1)$$

Dengan:

G : *gaussian blur*

(x,y) : nilai titik pixel (posisi x dan y)

π : 3.14

σ : nilai sigma (lebar *gaussian*)

e : 2.72 (nilai ketetapan)

Setelah didapat nilai kernel *gaussian blur*, maka tahapan selanjutnya yaitu melakukan konvolusi citra masukan (*grayscale*) dengan sebuah kernel *gaussian*.

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) \times I(x, y) \quad (2)$$

Dengan:

$L(x,y, \sigma)$: *gaussian blur* (konvolusi citra masukan dan kernel *gaussian*)
 I : *input image* (citra masukan)

Selanjutnya untuk dapat menghitung nilai *difference of gaussian* (DoG), diperlukan perhitungan nilai *gaussian blur* dan skala ruang pada suatu koordinat dengan skala $k\sigma$ dimana $k = \sqrt{2}$ dengan persamaan berikut.

$$G(x, y, k\sigma) = \frac{1}{2\pi(k\sigma)^2} e^{-(x^2+y^2)/2(k\sigma)^2} \quad (3)$$

$$L(x, y, k\sigma) = G(x, y, k\sigma) \times I(x, y) \quad (4)$$

Tahapan selanjutnya adalah pencarian hasil citra *difference of gaussian* didefinisikan dalam fungsi $D(x,y, \sigma)$. Dimana hasil yang didapat berasal dari konvolusi dari citra masukan

$$\begin{aligned} D(x, y, \sigma) &= (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) \times I(x, y) \\ &= L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \end{aligned} \quad (5)$$

Dengan:

D : *difference of gaussian* (perbedaan dari *gaussian*)

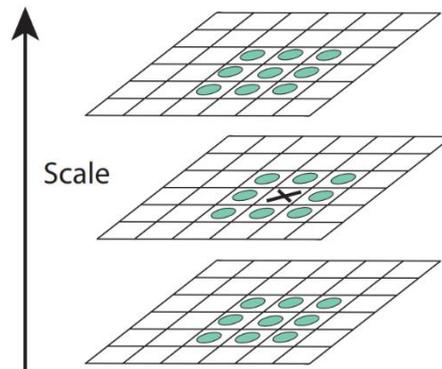
k : skala k ($\sqrt{2}$)

Setelah diperoleh citra DoG, maka langkah selanjutnya adalah mencari kandidat *keypoint*. Kandidat *keypoint* dideteksi sebagai titik maksimum atau minimum lokal dari citra hasil DoG.

2. *Keypoint Localization*

Setelah kandidat *keypoint* ditemukan melalui tahapan sebelumnya, maka langkah selanjutnya adalah untuk mengambil detail dari kandidat *keypoint* tersebut. Pada tahapan ini akan terjadi pengurangan jumlah kandidat *keypoint*. Dimana setiap kandidat *keypoint* yang dianggap rentan

terhadap gangguan (*noise*) akan dihilangkan. Proses penentuan *keypoint* dilakukan dengan mencari nilai *maxima/minima* DoG yang dideteksi dengan membandingkan sebuah piksel dengan 8 piksel tetangganya, juga dibandingkan dengan 9 piksel dari skala berikutnya dan 9 piksel dari skala sebelumnya (Robomechtrix, 2019).



Gambar 10. Ilustrasi deteksi ekstremum
Sumber: Lowe (2004)

$$Z = -\left(\frac{\partial^2 D}{\partial x^2}\right)^{-1} \frac{\partial D}{\partial x} \quad (6)$$

Dengan:

Z : nilai ekstremum

$\left(\frac{\partial^2 D}{\partial x^2}\right)^{-1}$: 3x3 matriks *Hessian* dievaluasi pada *keypoint*

$\frac{\partial D}{\partial x}$: nilai gradien *keypoint* yang akan dibandingkan

Selanjutnya menghitung nilai *keypoint* pada ekstremum digunakan dengan rumus berikut:

$$D(Z) = D + \frac{1}{2} \frac{\partial D^{-1}}{\partial x} Z \quad (7)$$

Dengan :

D : *difference of gaussian* (DoG)

Z : nilai ekstremum

Jika nilai $D(Z)$ tidak melebihi nilai kontras *threshold* maka *keypoint* akan dihilangkan dan tidak terpakai lagi. Penghapusan *keypoint* yang tidak memenuhi syarat juga penghapusan *keypoint* tak stabil yang berada di daerah *edge*. Sehingga pada tahap ini akan diketahui persis dimana titik ekstrim itu dicapai (NPTEL-NOC IITM, 2020).

3. Orientation Assignment

Pada tahapan penentuan orientasi ini setiap *keypoint* yang telah didapat akan diberikan orientasi berdasarkan lokasinya pada citra. Maka dengan demikian *keypoint* dapat dipresentasikan secara relatif terhadap orientasi yang mana *keypoint* tidak akan berpengaruh terhadap rotasi dan *scale* pada citra. Penentuan orientasi ini dilakukan dengan menghitung besar nilai gradien magnitude $m(x,y)$ dan arah sudut orientasi $\theta(x,y)$.

$$m(x, y) = \sqrt{(L(x + 1, y) - L(x - 1, y))^2 + (L(x, y + 1) - L(x, y - 1))^2} \quad (8)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \frac{(L(x,y+1)-L(x,y-1))}{(L(x+1,y)-L(x-1,y))} \quad (9)$$

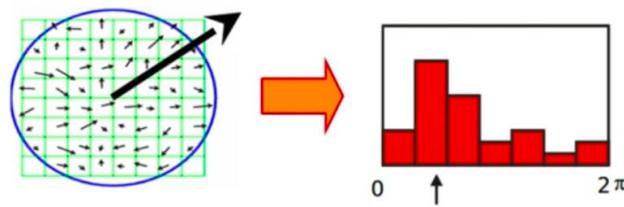
Dengan:

m : gradien magnitude

θ : orientasi

L : letak titik perbandingan

Orientasi ditetapkan ke setiap titik kunci ke mana ia menghadap. Selanjutnya orientasi histogram dibuat. Puncak maksimum di histogram dan puncak apapun di atas 80% dipertimbangkan. Langkah ini akan membuat titik-titik penting dengan lokasi dan skala yang sama tetapi arah yang berbeda (Robomechtrix, 2019).

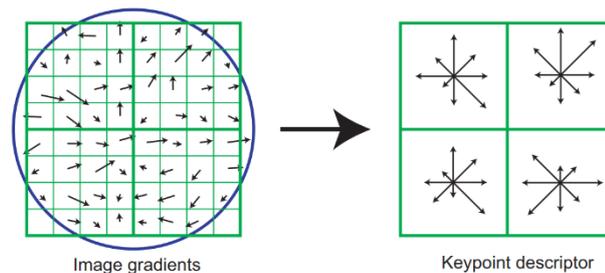


Gambar 11. Orientasi *keypoint*
Sumber: NPTEL-NOC IITM (2020)

4. *Keypoint Descriptor*

Pada proses ini, masing-masing yang telah diorientasikan akan diberikan ciri khusus (*descriptor*). Nilai orientasi diperoleh dari citra *gaussian* yang memiliki skala terdekat dengan skala *keypoint* yang akan dihitung. Agar *keypoint* yang diperoleh *invariant* terhadap orientasi akan rotasi, maka koordinat dari *descriptor* dan gradien orientasi akan di rotasi relatif terhadap orientasi dari *keypoint*.

Descriptor adalah vektor ukuran (jumlah *keypoints* 128) yang dicapai dari orientasi histogram (Robomechtrix, 2019). Untuk melakukan hal ini, akan digunakan informasi gradien di lingkungan lokal di sekitar titik kunci. Yaitu dengan mengambil jendela 16x16 di sekitar titik kunci yang terdeteksi lalu dibagi menjadi 16 sub blok ukuran yang terdiri dari 4x4. Setiap sub blok memiliki 8 bin orientasi sehingga kumpulan 16x8 yaitu sebanyak 128 bins deskriptif SIFT (NPTEL-NOC IITM, 2020)



Gambar 12. *Keypoint descriptor*
Sumber: Lowe (2004)

Setelah semua tahap di atas telah dilewati maka akan didapatkan hasil akhir berupa citra yang telah memiliki *keypoint* yang *invariant* terhadap berbagai macam perubahan. *Keypoint* ini yang kemudian menjadi fitur-fitur lokal suatu citra dan akan dicocokkan dengan *keypoint-keypoint* yang terdapat pada citra lain.

2.12 Skala *Likert*

Menurut Syofian, dkk (2015) menjelaskan bahwa skala *likert* adalah skala pengukuran yang dikembangkan oleh Likert (1932). Skala *likert* mempunyai empat atau lebih butir-butir pertanyaan yang dikombinasikan sehingga membentuk sebuah skor/nilai yang merepresentasikan sifat individu, misalkan pengetahuan, sikap, dan perilaku. Dalam proses analisis data, komposisi skor, biasanya jumlah atau rataan, dari semua butir pertanyaan dapat digunakan. Untuk dapat mengetahui tingkat kepastian dalam penelitian ini, maka digunakan cara dengan skala *likert*. Skala *likert* adalah suatu skala psikometrik yang umum digunakan dalam kuesioner dan merupakan skala yang paling banyak digunakan dalam riset berupa survei. Nama skala ini diambil dari nama Rensis Likert, yang menerbitkan suatu laporan yang menjelaskan penggunaannya. Sewaktu menanggapi pertanyaan dalam skala *likert*, responden menentukan tingkat persetujuan mereka terhadap suatu pernyataan dengan memilih salah satu dari pilihan yang tersedia. Biasanya disediakan lima pilihan skala dengan format seperti:

1. Sangat setuju
2. Setuju
3. Netral
4. Tidak setuju
5. Sangat tidak setuju

Skala *likert* kerap digunakan sebagai skala penilaian karena memberi nilai terhadap sesuatu. Menurut Fitriani, dkk tahun 2021, perhitungan skala *likert* dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Rumus = T \times Pn \quad (10)$$

Dengan:

T = total jumlah responden yang memilih

Pn = pilihan angka skor likert

Kemudian semua hasil dijumlahkan dan didapatkan total skor.

Interpretasi skor perhitungan:

$$Y = \text{skor tertinggi likert} \times \text{jumlah responden} \quad (11)$$

$$X = \text{skor terendah likert} \times \text{jumlah responden} \quad (12)$$

Rumus interval:

$$I = \frac{100}{\text{Jumlah skor}} \quad (13)$$

Maka:

$100 / 5 = 20$ (intervalnya jarak dari terendah 0% hingga tertinggi 100%)

Berikut kriteria interpretasi skor berdasarkan interval:

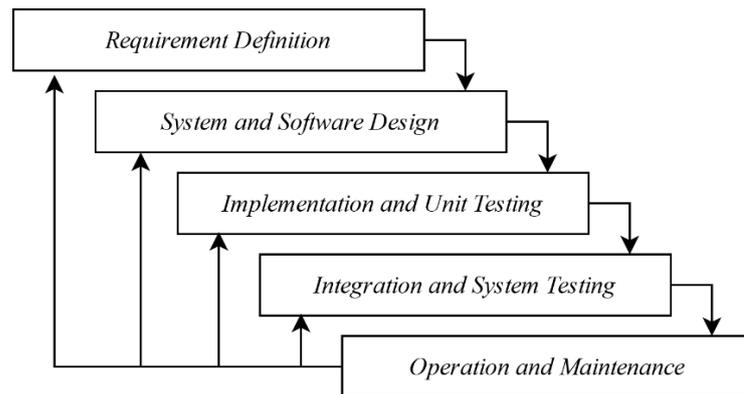
- Angka 0% - 19.99% = sangat (tidak setuju/ tidak puas/ buruk/ kurang sekali)
- Angka 20% - 39.99% = tidak setuju/ tidak puas/ kurang baik
- Angka 40% - 59.99% = cukup puas/ cukup setuju/ netral
- Angka 60% - 79.99% = setuju/ baik/ puas/ suka
- Angka 80% - 100% = sangat (setuju/ baik/ puas/ suka)

Penyelesaian akhir:

$$\text{Rumus indeks \%} = \text{Total skor} / Y \times 100 \quad (14)$$

2.13 Model *Waterfall*

Menurut Sommerville (2011) mendefinisikan model *waterfall* sebagai “model air terjun” atau siklus hidup perangkat lunak karena menurun dari satu fase ke fase lainnya.



Gambar 13. Model *waterfall*
Sumber: Alkodri, dkk (2020)

1. *Requirement Definition*

Tahap pertama yaitu proses pencarian kebutuhan (*requirements definition*) bertujuan untuk mengetahui sifat dari program yang akan dibuat.

2. *System and Software Design*

Tahap kedua adalah pembuatan *design system* sebelum proses *coding* dimulai.

3. *Implementation and Unit Testing*

Pada tahap ketiga ini, desain harus diubah bentuknya menjadi bentuk yang dapat dimengerti oleh mesin, yaitu ke dalam bahasa pemrograman melalui proses *coding*. Tahap ini merupakan implementasi dari tahap desain.

4. *Integration and System Testing*

Tahap selanjutnya adalah proses uji coba aplikasi dari kebutuhan setiap tahap sebelumnya untuk memastikan tidak ada lagi *error* atau *bug* dalam aplikasi yang dibuat.

5. *Operation and Maitenance*

Perbaikan dibutuhkan jika aplikasi mengalami *error* yang tidak ditemukan sebelumnya serta pengembangan aplikasi seperti penambahan fitur. (Alkodri, dkk, 2020).

2.14 *Black Box Testing*

Black box testing merupakan pengujian perangkat lunak dari segi spesifikasi fungsional tanpa menguji desain dan kode program untuk mengetahui apakah

fungsi, masukan dan keluaran dari perangkat lunak sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan (Cholifah, dkk, 2018).

Keuntungan dalam menggunakan metode *black box testing* adalah pengujian tidak perlu memiliki pengetahuan tentang bahasa pemrograman tertentu. Pengujian dilakukan dari sudut pandang pengguna sehingga *programmer* dan *tester* keduanya saling bergantung satu sama lain.

Kekurangan dari metode *black box testing* adalah pengujian kasus sulit didesain tanpa spesifikasi yang jelas. Memungkinkan memiliki pengulangan pengujian yang sudah dilakukan oleh *developer*. Beberapa bagian *back end* tidak diuji sama sekali (Ma'ruf, dkk, 2020).

Menurut Mustaqbal, dkk (2015), *black box testing* cenderung untuk menemukan hal-hal berikut:

1. Fungsi yang tidak benar atau tidak ada.
2. Kesalahan antarmuka (*interface errors*).
3. Kesalahan pada struktur data dan akses basis data.
4. Kesalahan performansi (*performance errors*).
5. Kesalahan inisialisasi dan terminasi.

2.15 Paired Sample T-Test

2.15.1 Dasar Teori

Berdasarkan buku yang berjudul “Dasar-Dasar Statistik Penelitian” tahun 2017 menjelaskan bahwa uji-t berpasangan (*paired t-test*) adalah salah satu metode pengujian hipotesis dimana data yang digunakan tidak bebas (berpasangan). Ciri-ciri yang paling sering ditemui pada kasus yang berpasangan adalah satu individu (objek penelitian) dikenai 2 buah perlakuan yang berbeda. Walaupun menggunakan individu yang sama, peneliti tetap memperoleh 2 macam data sampel, yaitu data dari perlakuan pertama dan data dari perlakuan kedua. Hipotesis dari kasus ini dapat ditulis:

$$H_0 = \mu_1 - \mu_2 = 0 \text{ atau } \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a = \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \text{ atau } \mu_1 \neq \mu_2$$

H_a berarti bahwa selisih sebenarnya dari kedua rata-rata tidak sama dengan nol.

2.15.2 Rumus Paired Sample T-Test

Untuk menghitung *paired sample t-test*, berikut merupakan rumus yang dapat digunakan.

$$t_{hit} = \frac{\bar{D}}{\frac{SD}{\sqrt{n}}} \quad (15)$$

$$SD = \sqrt{var} \quad (16)$$

$$var(s^2) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (17)$$

Dengan:

t = nilai t hitung

\bar{D} = rata-rata selisih pengukuran 1 dan 2

SD = standar deviasi selisih pengukuran 1 dan 2

N = jumlah *sample*

2.15.3 Interpretasi

a. Untuk menginterpretasikan uji *t-test* terlebih dahulu harus ditentukan:

- Nilai signifikansi α
- Df (*degree of freedom*) = N – k, khusus untuk *paired sample t-test* df = N – 1

b. Bandingkan nilai t_{hit} dengan $t_{tab = \alpha; n-1}$

c. Apabila:

$t_{hit} > t_{tab} \rightarrow$ berbeda secara signifikansi (H_0 ditolak)

$t_{hit} < t_{tab} \rightarrow$ tidak berbeda secara signifikansi (H_0 diterima)

2.15.3 Analisa Menggunakan SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*)

Selain menggunakan rumus manual, kita juga dapat menggunakan SPSS untuk menghitung *paired sample t-test*. Menurut Lestari (2021) SPSS merupakan sebuah program komputer yang digunakan untuk membuat analisis statistika. Berikut merupakan langkah-langkah analisa menggunakan SPSS.

1. Misal X1 : sebelum diterapkan model pembelajaran dan X2 : setelah diterapkan model pembelajaran. Masukkan data tersebut pada *Data View*, namun sebelumnya kita harus menentukan nama dan tipe datanya pada *Variable View*.
2. Klik menu *Analyze* → *Computer Means* → *Paired Sample T-Test*
3. Masukkan X1 ke *variable 1* dan X2 ke *variable 2*.
4. Klik *option* dan pada *interval confidence* masukkan 95% (karena $\alpha = 0.05$)
5. Kemudian klik OK.

2.15.4 Penelitian Tekait Uji *Paired Sample T-Test*

Berikut merupakan contoh penelitian terkait yang menggunakan uji *paired sample t-test*.

1. Penelitian Pertama

Contoh penelitian yang menggunakan *paired sample t-test* adalah “*The Development of Find The Object Game Application as The Media of English Vocabulary Learning for Second and Third Grades of Elementary School*” oleh Setiawan, dkk (2020). Konsep *paired sample t-test* pada penelitian ini adalah konsep komparasi terhadap dua sampel berpasangan untuk melihat perbedaan. Sampel berpasangan merupakan subjek yang sama namun mengalami perlakuan yang berbeda.

A. Prosedur Pengujian

- Pada pengujian *pre-test*, dibagikan lebaran soal kepada *user* untuk mengetahui tingkat pengetahuannya tentang kosa kata bahasa inggris sebelum mencoba aplikasi.

- Setelah sesi *pre-test* selesai dilakukan, peneliti meminta *user* untuk memainkan aplikasi game edukasi “*Find The Object*”.
- Setelah *user* merasa cukup untuk memainkan game edukasi tersebut, selanjutnya peneliti memberikan lembaran soal kembali kepada *user*. Soal pada *post-test* sama persis dengan soal *pre-test*, namun urutannya diacak.
- Setelah *user* selesai mengerjakan semua soal, peneliti menghitung nilai *pre-test* dan *post-test* yang diperoleh *user*.
- Selanjutnya, peneliti membandingkan nilai yang diperoleh *user* pada sesi *pre-test* dan *post-test*. Jika nilainya terjadi peningkatan, maka aplikasi game edukasi “*Find The Object*” berhasil meningkatkan pengetahuan *user* mengenai kosa kata bahasa Inggris.

Setelah pengujian, didapatkan hasil data yang diperoleh dari hasil pengujian menggunakan *pre-test* dan *post-test*. Untuk data dari pengujian pada penelitian pertama dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Contoh data pengujian penelitian pertama

No	Nama	Kelas	<i>Pre-test</i>	<i>Post-test</i>
1	Partisipan 1	II	55	87.5
2	Partisipan 2	II	45	82.5
3	Partisipan 3	II	40	77.5
4	Partisipan 4	II	52.5	92.5
5	Partisipan 5	II	57.5	80
6	Partisipan 6	II	45	85
7	Partisipan 7	II	55	87.5
8	Partisipan 8	II	47.5	80
9	Partisipan 9	II	45	87.5

No	Nama	Kelas	Pre-test	Post-test
10	Partisipan 10	II	42.5	75
11	Partisipan 11	II	60	100
12	Partisipan 12	II	57.5	90
13	Partisipan 13	II	50	92.5
14	Partisipan 14	II	50	100
15	Partisipan 15	II	35	77.5
16	Partisipan 16	II	47.5	95
17	Partisipan 17	II	42.5	87.5
18	Partisipan 18	II	60	100
19	Partisipan 19	II	40	85
20	Partisipan 20	II	45	92.5
Rata-rata			48.625	87.75

Sumber: Setiawan, dkk (2020)

Data pada Tabel 1 dianalisis menggunakan uji *paired sample t-test* menggunakan tool SPSS yang terlihat pada Gambar 14.

→ **T-Test**

[DataSet0]

Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 PreTest	48.6250	20	7.18528	1.60668
PostTest	87.7500	20	7.64767	1.71007

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 PreTest & PostTest	20	.587	.006

Paired Samples Test

	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
				Lower	Upper			
				Paired Differences				
Pair 1 PreTest - PostTest	-39.12500	6.75097	1.50956	-42.28455	-35.96545	-25.918	19	.000

Gambar 14. Contoh analisis uji *paired sample t-test* penelitian pertama
Sumber: Setiawan, dkk (2020)

Interpretasi hasil *output*:

1. Bagian pertama (*Paired Samples Statistics*)

Standar deviasi menunjukkan variasi data pada setiap variabel. Dari hasil *output* tersebut dapat dilihat bahwa standar deviasi nilai *pre-test* sebesar 7.18 dan standar deviasi

nilai post-test sebesar 7.64 dan N menunjukkan banyaknya data, yaitu 20 data.

2. Bagian kedua (Paired Samples Correlations)

Bagian kedua menunjukkan hasil korelasi antara kedua variabel menghasilkan angka .587 dengan nilai signifikan .006 dan N menunjukkan banyaknya data, yaitu 20 data.

3. Bagian ketiga (*Paired Samples Test*) diinterpretasikan sebagai berikut:

a. Hipotesis

H0: rata-rata nilai *pre-test* dan *post-test* adalah sama atau tidak berbeda secara nyata

H1: rata-rata nilai *pre-test* dan *post-test* adalah tidak sama atau berbeda secara nyata

b. Tingkat kepercayaan

Pada tingkat kepercayaan 95%, maka nilai alpanya adalah 5% atau 0.05.

Maka: $\alpha = 0.05$.

c. Daerah kritis

Untuk menentukan keputusan, dapat digunakan metode perbandingan antara nilai signifikansi dengan nilai alpha. Ketentuannya sebagai berikut:

- Jika nilai sig > 0.05 maka terima H0
- Jika nilai sig < 0.05 maka terima H1

d. Keputusan

Karena nilai signifikansi yang muncul pada SPSS adalah 0.000, maka: $0.000 < 0.05$ (tolak H0, terima H1)

e. Kesimpulan

Berdasarkan keputusan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa dengan tingkat kepercayaan 95%, terdapat perbedaan secara nyata antara nilai *pre-test* dan *post-test*. Berdasarkan hasil dari *post-test*, game “*Find The Object*”

mampu meningkatkan pemahaman siswa kelas II SD terhadap kosa kata bahasa Inggris.

2. Penelitian Kedua

Contoh penelitian lainnya yang menggunakan *paired sample t-test* adalah “Pengaruh Pelatihan Dasar Komputer dan Teknologi Informasi bagi Guru-Guru dengan Uji-T Berpasangan (*Paired Sample T-Test*)” oleh Montolalu dan Langi (2018).

A. Prosedur Pengujian

- *Pre-test* tentang Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft PowerPoint, dan pengetahuan umum tentang teknologi informasi
- Dilanjutkan dengan pelatihan tentang bagaimana mengoperasikan dan menggunakan perangkat lunak Microsoft word, Microsoft Excel, Microsoft PowerPoint, dan penggunaan internet.
- *Post-test* tentang materi yang telah diberikan.

Data perlakuan pertama dalam penelitian ini ditentukan melalui nilai hasil *pre-test* dan data perlakuan kedua ditentukan melalui nilai hasil *post-test*. Data kedua perlakuan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Contoh data pengujian penelitian kedua

Data sebelum (<i>pre-test</i>)	Data sesudah (<i>post-test</i>)
50.00	70.00
55.00	73.00
55.00	82.00
45.00	79.00
48.00	77.00
60.00	80.00
53.00	75.00
47.00	72.00
52.00	68.00

Data sebelum (<i>pre-test</i>)	Data sesudah (<i>post-test</i>)
62.00	92.00
57.00	76.00
43.00	72.00
49.00	68.00
54.00	71.00
56.00	70.00
61.00	90.00
41.00	69.00

Sumber: Montolalu dan Langi (2018)

Data pada Tabel 2 dianalisis dengan uji-t menggunakan *software* statistika. Hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 15.

Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 sebelum	52.235	17	6.1900	1.5013
m	3		1	0
sesudah	75.529	17	7.1860	1.7428
h	4		8	8

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 sebelum & sesudah	17	.615	.009

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 sebelum dan sesudah	-23.29412	5.93469	1.43937	26.34546	-20.24278	-16.18316	.000	

Gambar 15. Contoh analisis uji *paired sample t-test* penelitian kedua
Sumber: Montolalu dan Langi (2018)

Gambar 15 menunjukkan hasil uji-t sebesar 16.183. dengan nilai signifikansi α sebesar 0.05. Karena nilai signifikansi yang muncul adalah 0.000, maka $0.000 < 0.05$ (tolak H_0 , terima H_1). Dengan kata lain, perlakuan yang dilakukan dalam penelitian memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap hasil yang diharapkan. Jika dilihat pada table, pengaruh yang diberikan oleh hasil penelitian ini adalah pengaruh yang positif bagi peserta dengan adanya peningkatan pemahaman dan pengetahuan.

2.16 Usability Testing

2.16.1 Pengertian

Usability testing adalah praktik menguji seberapa mudah suatu antarmuka digunakan dengan sekelompok pengguna yang mewakili. Cara terbaik untuk melakukannya adalah dengan meminta pengguna menguji antarmuka sebuah sistem sambil mengamati perilaku mereka.



Gambar 16. Alur *usability testing*
Sumber: Badan Sistem Informasi UII (2022)

Usability testing penting untuk dilakukan untuk mengidentifikasi masalah dalam desain UX, mendapatkan peluang untuk meningkatkan desain menjadi lebih baik, dan mempelajari perilaku dan preferensi pengguna target (Rahmatina, 2022). Untuk mengidentifikasi permasalahan dalam desain sebuah sistem cukup menggunakan lima orang. Pengujian dengan lima orang memungkinkan peneliti menemukan masalah *usability* lebih dari 80% dan jika menggunakan lebih banyak peserta tes maka

peningkatannya tidak terlalu signifikan yaitu hanya 20% (Farouqi, dkk, 2018).

Menurut Nielsen (1993), *usability* bukanlah properti satu dimensi dari antarmuka pengguna. *Usability* dikaitkan dengan lima atribut kegunaan.

1. *Learnability*

Sistem harus mudah dipelajari sehingga pengguna dapat memahaminya dan dengan cepat mulai menyelesaikan beberapa pekerjaan dengan sistem.

2. *Efficiency*

Sistem harus efisien untuk digunakan sehingga suatu saat pengguna telah mempelajari sistem, tingkat produktivitasnya mungkin tinggi.

3. *Memorability*

Sistem harus mudah diingat sehingga pengguna biasa dapat kembali ke sistem setelah beberapa waktu tidak menggunakannya tanpa harus mempelajari semuanya lagi.

4. *Errors*

Sistem harus memiliki tingkat kesalahan yang rendah sehingga pengguna dapat membuat sedikit kesalahan selama penggunaan sistem, dan sebagainya melakukan kesalahan yang dapat dengan mudah mereka pulihkan. Selain itu, kesalahan besar tidak boleh terjadi.

5. *Satisfaction*

Sistem harus menyenangkan untuk digunakan sehingga pengguna dapat merasa nyaman dan secara subyektif puas saat menggunakannya.

2.16.2 Metode *Usability Testing*

Terdapat dua metode yang dapat dilakukan pada *usability testing*, yaitu:

1. *Moderated*

Metode *moderated* adalah metode dimana moderator atau fasilitator akan membantu atau mengarahkan partisipan dalam melakukan pengujian secara *real-time*.

2. *Unmoderated*

Metode *unmoderated* adalah metode dimana partisipan melakukan pengujian tanpa adanya panduan atau arahan fasilitator secara langsung.

2.16.3 Langkah-langkah *Usability Testing*

Usability testing dimulai dari perencanaan hingga pelaporan dan perbaikan, berikut penjelasannya.



Gambar 17. Langkah-langkah *usability testing*
Sumber: Badan Sistem Informasi UII (2022)

1. *Planning the Usability Test*

Planning dimulai dengan membuat dokumen yang berisi apa tujuan dan metodologi pengujian. Selain itu tim dapat memikirkan siapa yang akan menjadi partisipan pengujian, bagaimana prosedur kerja, dan jenis data yang ingin dikumpulkan oleh tim.

2. *Preparing Test Scenario*

Skenario pengujian membantu untuk memutuskan tugas apa yang ingin diberikan kepada partisipan dan hasil apa yang ingin dicapai. Tugas saat menyiapkan skenario tes sangat penting dalam pengujian *usability*. Diharapkan tugas yang disiapkan tidak menyebabkan partisipan salah memahami apa yang diminta untuk dilakukan.

3. *Recruiting Participants*

Langkah pertama untuk merekrut peserta yang tepat adalah mengidentifikasi pengguna akhir sistem yang sedang dipelajari. Peserta harus menjadi pengguna realistis yang merupakan sekelompok kecil pengguna target. Setelah itu, menentukan rencana Tindakan untuk mulai mencari dan mengundang partisipan.

4. *Setting up the Test Environment*

a. *Laboratory Usability Testing*

Partisipan dan fasilitator berada dalam satu lokasi yang sama. Jadi secara *real-time* melakukan pengujian

b. *Remote Usability Testing*

Partisipan dan fasilitator tidak berada di lokasi yang sama. Partisipan dapat melakukan dimanapun dia berada.

5. *Conducting the Test*

Saat partisipan melakukan tugas, fasilitator mengamati perilaku peserta dan mendengarkan umpan balik. Fasilitator juga dapat mengajukan pertanyaan lanjutan untuk mendapatkan rincian dari peserta. Selama proses berlangsung, pastikan untuk merekam interaksi layar dan suara (audio) peserta saat mereka menyelesaikan tugas.

6. *Analyzing the Data*

UX metrics adalah sekumpulan titik data kuantitatif yang digunakan untuk mengukur, membandingkan, dan melacak pengalaman pengguna situs web atau aplikasi. *UX metrics* sangat penting untuk memastikan desain UX telah berfungsi seperti yang diharapkan atau tidak. Kategori *UX metrics* terbagi menjadi dua, yaitu.

a. *Behavioral* (apa yang *user* lakukan)

- *Success rate*

Persentase *user* yang mampu menyelesaikan tugas tertentu

Success rate =

$$\frac{Success+(Partial\ success\times 0.5)+(Failure\times 0)}{Total\ task} \times 100\% \quad (18)$$

Dengan:

Success = mampu menyelesaikan tugas dengan sukses tanpa *error*

Partial success = mampu menyelesaikan tugas namun mengalami sedikit kendala

Failure = gagal menyelesaikan tugas

- *Time on task*

Waktu yang dihabiskan pengguna untuk menyelesaikan tugas, biasanya berupa angka (detik, menit, jam). Metrik ini berfungsi sempurna untuk aktivitas yang berfokus pada tugas, dengan tujuan pengguna adalah menyelesaikan sesuatu seefisien mungkin.

$$Time\ on\ task = \frac{Time \times Success\ rate}{Total\ processing\ time} \times 100\% \quad (19)$$

Dengan:

Time = waktu yang dihabiskan pengguna untuk menyelesaikan tugas

Success rate = jika berhasil dikalikan 1, jika berhasil sebagian dikalikan 0.5, jika gagal dikalikan 0

Total processing time = jumlah waktu yang dibutuhkan seluruh responden dalam menyelesaikan skenario tugas

- *Error rate*

Mengukur kesalahan atau kekeliruan yang dilakukan pengguna pada saat mengoperasikan sistem. Misalnya

pengguna dapat secara tidak sengaja memilih tindakan yang salah atau gagal memasukkan data ke dalam formula kontak. Sering kali, kesalahan berkaitan erat dengan masalah *usability*. Metrik ini dapat membantu mengidentifikasi area dalam produk yang sulit dihadapi oleh pengguna.

$$Error\ rate = \frac{Total\ of\ attempts\ that\ had\ errors}{Total\ of\ attempt} \times 100\%$$

(20)

Dengan:

Total of attempts that had errors = total percobaan yang melakukan kesalahan

Total of attempts = total percobaan keseluruhan

b. *Attitudinal* (apa yang *user* katakan)

- *Single ease question* (SEQ)

Skala penilaian 7 poin untuk mengukur seberapa mudah atau sulitnya melakukan suatu tugas bagi pengguna. Mengumpulkan tanggapan SEQ biasanya digunakan selama studi *usability*, tepat setelah pengguna mencoba menyelesaikan tugas. SEQ adalah cara sederhana dan mudah untuk mengukur tugas *usability* (Badan Sistem Informasi UII, 2022).



Gambar 18. Skala SEQ

Sumber: Badan Sistem Informasi UII (2022)