

TESIS

**PENERAPAN TEKNOLOGI MARKER AUGMENTED REALITY
MENGUNAKAN ALGORITMA FAST CORNER DETECTION
BERBASIS MOBILE (Studi Kasus Buku Peralatan Olahraga Anak)**



Disusun oleh:

Nama : Caraka Aji Pranata
NIM : 19.51.1253
Konsentrasi : Business Intelligence

**PROGRAM STUDI S2 TEKNIK INFORMATIKA PROGRAM
PASCASARJANA UNIVERSITAS AMIKOM YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2022

TESIS

**PENERAPAN TEKNOLOGI MARKER AUGMENTED REALITY
MENGUNAKAN ALGORITMA FAST CORNER DETECTION
BERBASIS MOBILE (Studi Kasus Buku Peralatan Olahraga Anak)**

**APPLICATION OF AUGMENTED REALITY MARKER TECHNOLOGY
USING FAST CORNER DETECTION ALGORITHM FOR MOBILE (Case
on Buku Peralatan Olahraga Anak)**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh derajat Magister



Disusun oleh:

Nama : Caraka Aji Pranata
NIM : 19.51.1253
Konsentrasi : Business Intelligence

**PROGRAM STUDI S2 TEKNIK INFORMATIKA PROGRAM
PASCASARJANA UNIVERSITAS AMIKOM YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2022

HALAMAN PENGESAHAN

**PENERAPAN TEKNOLOGI MARKER AUGMENTED REALITY
MENGUNAKAN ALGORITMA FAST CORNER DETECTION BERBASIS
MOBILE (Studi Kasus Buku Peralatan Olahraga Anak)
APPLICATION OF AUGMENTED REALITY MARKER TECHNOLOGY
USING FAST CORNER DETECTION ALGORITHM FOR MOBILE (Case on
Buku Peralatan Olahraga Anak)**

Dipersiapkan dan Disusun oleh

Caraka Aji Pranata

19.51.1253

Telah Diujikan dan Dipertahankan dalam Sidang Ujian Tesis
Program Studi S2 Teknik Informatika
Program Pascasarjana Universitas AMIKOM Yogyakarta
pada hari Kamis, 3 Februari 2022

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Magister Komputer

Yogyakarta, 3 Februari 2022

Rektor

Prof. Dr. M. Suyanto, M.M.

NIK. 190302001

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENERAPAN TEKNOLOGI MARKER AUGMENTED REALITY
MENGUNAKAN ALGORITMA FAST CORNER DETECTION BERBASIS
MOBILE (Studi Kasus Buku Peralatan Olahraga Anak)**

**APPLICATION OF AUGMENTED REALITY MARKER TECHNOLOGY
USING FAST CORNER DETECTION ALGORITHM FOR MOBILE (Case on
Buku Peralatan Olahraga Anak)**

Dipersiapkan dan Disusun oleh

Caraka Aji Pranata

19.51.1253

Telah Diujikan dan Dipertahankan dalam Sidang Ujian Tesis
Program Studi S2 Teknik Informatika
Program Pascasarjana Universitas AMIKOM Yogyakarta
pada hari Kamis, 3 Februari 2022

Pembimbing Utama

Anggota Tim Penguji

Prof.Dr. Ema Utami, S.Si., M.Kom
NIK. 190302037

Dr. Andi Sunyoto, M.Kom.
NIK. 190302052

Pembimbing Pendamping

Alva Hendi Muhammad, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIK. 190302493

Emha Taufiq Luthfi, ST, M.Kom
NIK. 190302125

Prof.Dr. Ema Utami, S.Si., M.Kom
NIK. 190302037

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Magister Komputer

Yogyakarta, 3 Februari 2022
Direktur Program Pascasarjana

Prof.Dr. Kusriani, M.Kom
NIK. 190302106

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertandatangan di bawah ini,

Nama mahasiswa : Caraka Aji Pranata
NIM : 19.51.1253
Konsentrasi : Business Intelligence

Menyatakan bahwa Tesis dengan judul berikut:

Penerapan Teknologi Marker Augmented Reality Menggunakan Algoritma Fast Corner Detection berbasis Mobile (Studi Kasus Buku Peralatan Olahraga Anak)

Dosen Pembimbing Utama : Prof. Dr. Ema Utami, S.Si., M.Kom.
Dosen Pembimbing Pendamping : Ema Taufiq Luthfi, ST, M.Kom.

1. Karya tulis ini adalah benar-benar ASLI dan BELUM PERNAH diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas AMIKOM Yogyakarta maupun di Perguruan Tinggi lainnya
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan dan penelitian SAYA sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari Tim Dosen Pembimbing
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan disebutkan dalam Daftar Pustaka pada karya tulis ini
4. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab SAYA, bukan tanggung jawab Universitas AMIKOM Yogyakarta
5. Pernyataan ini SAYA buat dengan sesungguhnya, apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka SAYA bersedia menerima SANKSI AKADEMIK dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Perguruan Tinggi

Yogyakarta, 3 Februari 2022

Yang Menyatakan,



Caraka Aji Pranata

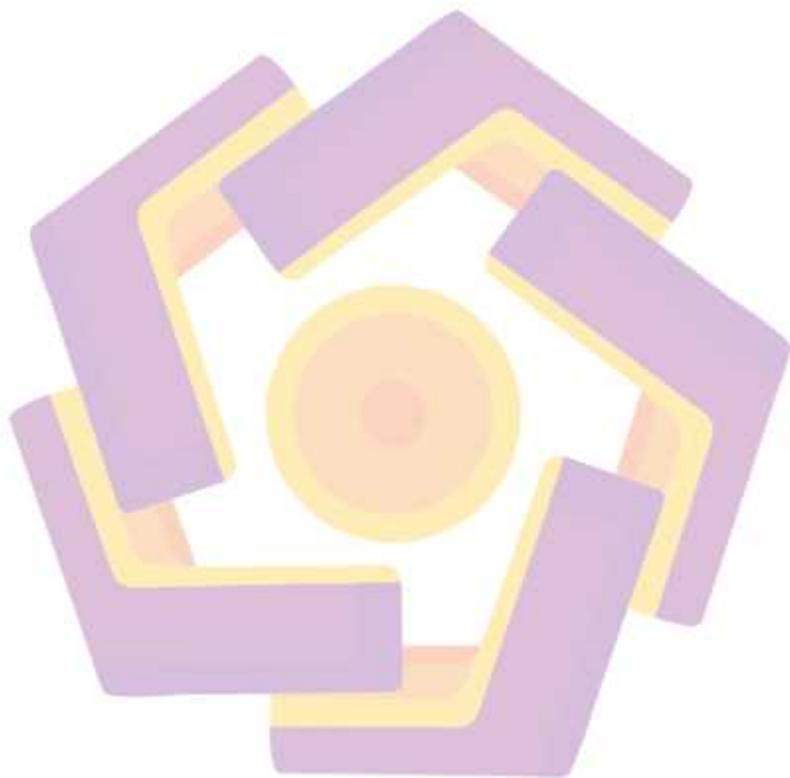
HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan Alhamdulillah saya persembahkan karya ini untuk :

1. Bapak Margono, M.Pd, dan Ibu Sri Pudiastuti yang senantiasa memberikan dukungan baik secara moril maupun materil, serta semua doa, arahan, nasihat, bimbingan, dan didikan selama ini.
2. Yulika Rosi Arifanti yang selalu memberikan support yang tiada henti.
3. Seluruh keluarga besar yang mendukung untuk bisa menyelesaikan studi ini.
4. Seluruh keluarga kamikaZe Family yang terus memberikan support kewarasan selama proses menyusun tesis.
5. Semua teman-teman yang tidak mungkin penulis bisa sebutkan satu persatu.

HALAMAN MOTTO

"It's fine to celebrate success, but it is more important to heed the lessons of failure." - Bill Gates



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat Rahmat dan Karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis ini. Shalawat beserta salam semoga senantiasa terlimpah curahkan kepada Nabi Muhammad SAW, kepada keluarganya, para sahabatnya, hingga kepada umatnya hingga akhir zaman, Amin.

Penulisan tesis ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister pada Program Pasca Sarjana Magister Teknik Informatika Universitas AMIKOM Yogyakarta. Judul yang penulis ajukan adalah "Penerapan Teknologi Marker Augmented Reality Menggunakan Algoritma Fast Corner Detection berbasis Mobile (Studi Kasus Buku Peralatan Olahraga Anak)".

Dalam penyusunan dan penulisan tesis ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Prof., Dr., M. Suyanto, M.M. selaku Rektor Universitas AMIKOM Yogyakarta.
2. Ibu Prof. Dr. Kusrini, M.Kom. selaku Direktur Magister Teknik Informatika Universitas AMIKOM Yogyakarta.
3. Ibu Prof. Dr. Ema Utami, M.Kom. selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah mencurahkan perhatian, bimbingan, arahan, nasehat serta waktunya selama proses penulisan tesis.

4. Bapak Emha Taufiq Lutfhi, S.T., M.Kom. selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang telah mencurahkan perhatian, bimbingan, arahan, nasehat serta waktunya selama proses penulisan tesis.
5. Bapak Drs Margono, M.Pd, dan Ibu Sri Pudihastuti yang senantiasa memberikan dukungan baik secara moril maupun materiil, serta semua doa, arahan, nasehat, bimbingan, dan didikan selama ini.
6. Yulika Rosi Arifanti yang selalu memberikan semangat serta dukungan dalam penyelesaian tesis.
7. Bapak Ria Lumiptuarso yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian pada Buku Peralatan Olahraga Anak.
8. Rekan-rekan kelas A Regular angkatan 2020 yang kompak memberikan bantuan dan semangat.
9. Semua pihak yang telah memberikan support, semangat dan bantuan moril tiada henti, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan tepat waktu.

Akhir kata, semoga segala bantuan yang telah diberikan dapat diterima Allah SWT sebagai amalan panjang dan senantiasa mendapat Ridho-Nya. Sehingga pada akhirnya tesis ini dapat selalu bermanfaat bagi kita semua.

Yogyakarta, 3 Februari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

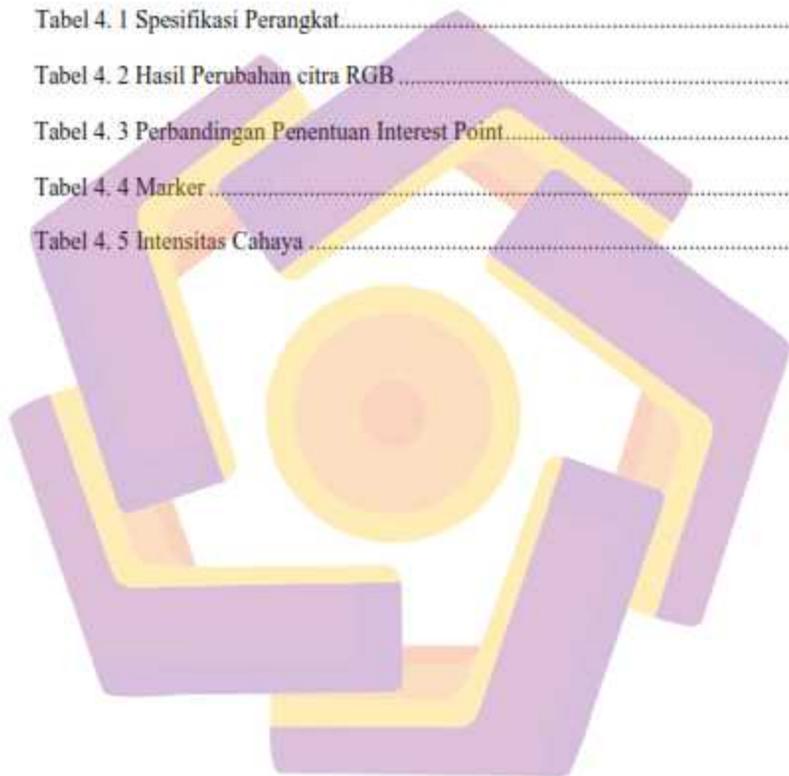
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
HALAMAN MOTTO.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR ISTILAH.....	xv
INTISARI.....	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	5
1.3. Batasan Masalah.....	5
1.4. Tujuan Penelitian.....	6

1.5. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1. Tinjauan Pustaka	8
2.2. Keaslian Penelitian.....	11
2.3. Landasan Teori.....	16
2.3.1 Augmented Reality.....	16
2.3.2 Display	16
2.3.3 Input Device	17
2.3.4 Tracking	17
2.3.5 Computer.....	17
2.3.6 FAST Corner Detection	17
2.3.7 Bresenham Circle	21
2.3.8 Vuforia	22
BAB III.....	27
METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Jenis, Sifat dan Pendekatan Penelitian	27
3.2 Metode Pengumpulan Data	27
3.3 Metode Analisis Data	28
3.4 Alur Penelitian.....	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29

4.1 Tahap Perencanaan.....	30
4.2 Tahap Evaluasi.....	32
4.2.1 Evaluasi FAST Corner Detection.....	32
4.2.2 Marker Augmented Reality.....	45
4.2.3 Evaluasi Intensitas Cahaya.....	46
4.2.4 Evaluasi Marker Augmented Processing.....	47
BAB V PENUTUP.....	51
5.1. Kesimpulan.....	51
5.2. Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	53
LAMPIRAN.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Matriks literatur review dan posisi penelitian.....	11
Tabel 2.2 Akurasi dan kecepatan komputasi.....	21
Tabel 4. 1 Spesifikasi Perangkat.....	31
Tabel 4. 2 Hasil Perubahan citra RGB.....	37
Tabel 4. 3 Perbandingan Penentuan Interest Point.....	45
Tabel 4. 4 Marker.....	46
Tabel 4. 5 Intensitas Cahaya.....	46



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Menentukan titik p awal	18
Gambar 2.2 Menentukan 16 titik pixel.....	18
Gambar 2.3 Titik p para koordinat n	19
Gambar 2.4 Perbandingan intensitas titik p	19
Gambar 2.5 Workflow FAST Corner Detection.....	20
Gambar 2.6 Bresenham Circle	22
Gambar 2.7 Vuforia License Manager.....	24
Gambar 2.8 Citra yang Terproses	25
Gambar 4.1 Potongan Sample Citra RGB.....	33
Gambar 4.2 Nilai RGB.....	34
Gambar 4.3 Nilai RGB Setelah Konversi	35
Gambar 4.4 Nilai Grayscale Contoh 1	35
Gambar 4.5 Potongan Sample Citra Grayscale	36
Gambar 4.6 Script Proses Konversi Grayscale	36
Gambar 4.7 Titik p Sample	38
Gambar 4.8 Penentuan Corner	40
Gambar 4.9 Contoh Penentuan Corner 2	41
Gambar 4.10 Penentuan Corner 2	42
Gambar 4.11 Script penentuan 16 titik Bresenham.....	43
Gambar 4.12 Script Test Konversi RGB to Grayscale.....	43
Gambar 4.13 Script Testing FAST Corner Python	44
Gambar 4.14 Chart Deteksi Marker	49

DAFTAR ISTILAH

FCD : Fast Corner Detection

HCD : Harris Corner Detection

SURF : Speeded-Up Robust Features

SDK : Software Development Kit



INTISARI

Pada era yang serba digital saat ini, Augmented reality menjadi tren pada beberapa bidang. Pengertian augmented reality sendiri adalah sebuah teknologi yang dapat menggabungkan objek virtual dengan objek yang ada pada dunia nyata secara realtime. Augmented Reality berbeda dari Virtual Reality dan Mixed Reality. Marker base augmented reality merupakan jenis augmented reality yang menggunakan pengenalan gambar 2 dimensi secara real-time untuk memberi pengguna visualisasi data digital tambahan untuk memberikan informasi sesuai yang dibutuhkan. Fast Corner Detection merupakan sebuah algoritma yang diciptakan karena visualisasi realtime yang tidak cukup cepat dan memiliki source komputasi yang tidak terbatas. Buku Peralatan Olahraga Anak (POA) merupakan sebuah buku pedoman penggunaan dari Peralatan Olahraga Anak yang disusun untuk memberikan kemudahan dalam menggunakan peralatan tersebut. Penelitian ini membahas tentang efektifitas dari penggunaan metode FAST Corner Detection dalam teknologi Augmented Reality. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi, waktu pendeteksian marker, jarak marker terhadap kamera, sudut marker terhadap kamera, dan pengaruh cahaya terhadap marker. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa deteksi maksimal didapatkan saat pengujian di luar ruangan pada jarak 40cm.

Kata kunci: Augmented Reality, Fast Corner Detection, Marker Based, Peralatan Olahraga Anak.

ABSTRACT

In this digital age, Augmented reality is a trend in several fields. The definition of augmented reality itself is a technology that can combine virtual objects with objects that exist in the real world in real time. Augmented Reality is different from Virtual Reality and Mixed Reality. Augmented reality marker base is a type of augmented reality that uses real-time introduction of 2-dimensional images to give users additional digital data visualization to provide the information they need. Fast Corner Detection is an algorithm created because realtime visualizations are not fast enough and have unlimited compute sources. Peralatan Olahraga Anak (POA) book used as a module of Peralatan Olahraga Anak that is compiled to provide convenience in using such equipment. This research discusses the effectiveness of the use of FAST Corner Detection method in Augmented Reality technology. The tests carried out in this study include, marker detection time, marker distance to camera, marker angle to camera, and effect of light on marker. In this research, obtained results of maximum results is in outdoor testing at 40cm range.

Keyword: Augmented Reality, Fast Corner Detection, Marker Based, Peralatan Olahraga Anak.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Augmented reality merupakan sebuah teknologi yang mampu menggabungkan objek virtual dengan objek yang ada pada dunia nyata secara realtime. Augmented Reality memungkinkan penggunaanya untuk melihat dan berinteraksi dengan dunia nyata (Kaplan et al., 2020). Interaksi yang dimaksud memungkinkan untuk diaplikasikan pada seluruh indera manusia, termasuk pendengaran, penciuman, serta sentuhan. Augmented reality dapat berguna dalam banyak bidang, sebagai contoh dapat digunakan dalam bidang kesehatan, militer, industri, maupun dunia pendidikan. Selain berguna dalam beberapa bidang penting diatas, teknologi Augmented Reality dapat disisipkan atau berguna sebagai wadah informasi tertentu didalam dunia maya yang kemudian dapat diproyeksikan kedalam dunia nyata dengan bantuan peralatan khusus. Pada saat ini, komputer mencari keberadaan marker yang sudah ditentukan sebelumnya untuk dilakukannya Augmentedtasi. Sebelum terjadinya proses Augmentedtasi citra dianalisis terlebih dahulu melalui kamera yang ada pada smartphone. Marker yang digunakan dapat berupa gambar, teks, kode barcode-QR, atau gambar kamera dari suatu objek. Ketika kamera menangkap marker tersebut, computer mulai memutar informasi digital. Informasi digital yang dimaksud meliputi teks, gambar, video, animasi, audio, dan model 3D. Di beberapa aplikasi AR, konten dipicu sesuai dengan suatu hal disekitarnya, bukan dipicu oleh marker. Sesuatu hal disekitar pengguna tersebut meliputi dari arah gerakan, posisi, atau ke sudut apa dan ke arah mana pengguna

memutar smartphonenya. Namun hal lain bisa dilakukan oleh Augmented Reality ketika pengguna berada pada posisi tertentu atau melihat ke arah tertentu (Köse, H., 2020). Augmented Reality dikembangkan menjadi 2 jenis, yaitu *Marker Based Tracking* dan *Markerless Based Tracking* (Devita et al., 2020). Dalam prosesnya Augmented Reality membutuhkan suatu target sebagai pendanda khusus yang mana akan digunakan dalam memunculkan object 3 dimensi. Penanda khusus yang dimaksud tersebut adalah marker. Marker Based merupakan jenis Augmented Reality yang menggunakan pengenalan gambar 2 dimensi secara real-time untuk memberi pengguna visualisasi data digital tambahan untuk memberikan informasi sesuai yang dibutuhkan. Sedangkan untuk Markerless Augmented Reality tidak bergantung pada marker untuk identifikasi, namun tetapi pada karakteristik lingkungan. Beberapa markerless memiliki kapasitas untuk mengumpulkan dan menyimpan data dan fitur tentang area tempat mereka digunakan untuk penggunaan berikutnya (Romli R, 2020).

Penggunaan marker dalam melakukan *tracking* gambar dapat dioptimalkan, diterapkan, dan diuji menggunakan beberapa metode. Evaluasi yang telah dilakukan diantaranya adalah evaluasi terhadap *Harris Corner Detection* dan *Features from Accelerated Segment Test Corner Detection*. Dari kedua metode yang disebutkan, Karim membahas tentang perbedaan dari metode Harris Corner Detection dan FAST Corner Detection. Dalam penelitian yang dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa Harris Corner Detection tidak cocok digunakan untuk pemrosesan *real-time*, dikarenakan *processing time* dari Harris Corner Detection terlalu lama (Karim & Nasser, 2017). Pada penelitian lain, Belghit pada tahun 2018 melakukan evaluasi terhadap kecepatan proses komputasi pada beberapa *corner detector* memiliki hasil yaitu metode SURF memiliki dengan *processing time* 72.63 ms, ORB 8.37ms,

BRISK 4.12ms, dan FAST memiliki waktu 1.87 detik dalam melakukan deteksi 500 *Interest Point* (Belghit et al., 2018).

Seiring dengan berkembangnya teknologi tentang Augmented Reality, mulai banyak Software Development Kit yang dikembangkan diantaranya adalah Vuforia. Vuforia merupakan sebuah Augmented Reality *Software Development Kit* untuk smartphone (Android dan iOS) dan desktop yang memungkinkan untuk melakukan eksekusi aplikasi AR menjadi 3D *vision* dengan waktu *real time* yang diperoleh dari perangkat yang digunakan. Software ini menggunakan kemampuan teknologi computer vision untuk mengenali dan membuat pelacakan secara individual dari objek yang ditangkap oleh kamera video secara real time. Namun, tidak semua objek bisa terdeteksi oleh vuforia dan hanya beberapa objek yang terdeteksi yang dapat dilacak terutama karena permasalahan tingkat kerumitan dari sebuah citra. Kemampuan Vuforia untuk registrasi gambar memungkinkan pengembang untuk memposisikan dan mengarahkan objek virtual, terutama objek 3D atau jenis media lainnya. Objek virtual tersebut kemudian dapat melacak posisi dan orientasi bayangan nyata dan secara real time. Hal ini menyebabkan sudut pandang pengguna terhadap objek tersebut sesuai dengan sudut pandang mereka terhadap dunia nyata yang dituju menjadi lebih bebas. Dengan cara ini, objek atau objek virtual muncul seolah-olah dari objek dunia nyata lainnya. Vuforia SDK mendukung berbagai jenis target, baik 2D maupun 3D, termasuk konfigurasi multi-target, markerless, dan marker. Unity terdiri dari editor untuk mengembangkan/mendesain konten dan mesin game untuk mengeksekusi produk akhir. Dengan cara ini, SDK mendukung pengembangan asli untuk iOS dan Android, sekaligus memungkinkan pengembangan aplikasi AR di Unity yang mudah dibawa-bawa ke kedua platform. Aplikasi Augmented Reality yang dikembangkan menggunakan Vuforia mencakup desktop Personal Computer, smartphone dengan sistem operasi iOS dan Android

(Ibañez, 2013). Vuforia menggunakan Algoritma FAST Corner Detection untuk memilih seberapa baik gambar bisa dideteksi dan dilacak. Keuntungan dalam menggunakan Algoritma FAST adalah pada kecepatan operasi dan komputasi yg rendah dibandingkan menggunakan algoritma pencari sudut lainnya yang memiliki dampak terhadap berkurangnya akurasi deteksi sudut. Di Vuforia terdapat Star Rating yg ditampilkan pada Target Manager. Star Rating memiliki nilai berkisar dari 0 sampai 5 untuk setiap citra. Semakin tinggi nilai Star Rating pada citra, maka semakin baik juga citra tersebut di Augmentasikan.

Berdasarkan paparan latar belakang diatas, dalam penelitian ini penulis melakukan penelitian menggunakan Augmented Reality sebagai bentuk visualisasi objek dan algoritma FAST Corner Detection sebagai metode pembaca objek visualisasi yang dapat dilakukan secara realtime. Fokus penelitiannya adalah menghitung tingkat akurasi dari Augmented Reality dengan Algoritma FAST Corner Detection pada sistem operasi Android dan iOS dengan objek marker buku Peralatan Olahraga Anak. Dipilihnya algoritma FAST Corner Detection dalam penelitian ini karena memiliki tingkat kecepatan dan akurasi yang tinggi dibandingkan dengan algoritma lainnya (ORB, BRISK, HCD). Kemudian alasan penulis memilih menggunakan buku POA sebagai objek penelitian dikarenakan dalam buku tersebut memiliki visualisasi objek 2D yang kompleks (banyaknya runtutan pergerakan dalam 1 citra, sehingga citra tersebut memiliki banyak detail sudut dan tekstur, memiliki kontras atau area gelap dan terang yang jelas, dan format citra 8 bit atau 24 bit). Hal tersebut menandakan citra kompleks dengan memiliki interest point akurat yang mana dapat digunakan sebagai titik marker dalam Augmented Reality. Selain itu hasil wawancara yang telah dilakukan dengan penulis buku POA, didapatkan hasil bahwa untuk kedepannya buku tersebut direncanakan akan dibuat dalam bentuk visual 3D Augmented Reality. Pada tahapan selanjutnya,

penulis melakukan rancangan evaluasi interest point citra 2D pada algoritma FAST Corner Detection dengan menggunakan Python sebagai alat evaluasi. Kemudian dilakukan pula pengujian Augmented Reality menggunakan Vuforia Engine dengan beberapa kriteria tertentu, yaitu evaluasi efek cahaya dalam pembacaan marker, evaluasi jarak pembacaan marker dan pengaruh sudut dalam pembacaan marker (Zuli, 2018).

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka penulis merumuskan masalah yaitu:

- a. Bagaimana cara melakukan evaluasi tingkat akurasi dari Algoritma FAST Corner Detection pada citra 2D?
- b. Apakah intensitas cahaya, spesifikasi platform, jarak dan sudut marker berpengaruh dalam akurasi dan kecepatan dalam munculnya Augmented Reality dengan menggunakan Algoritma FAST Corner Detection?

1.3. Batasan Masalah

Dari masalah yang diangkat, penulis memberikan batasan masalah agar fokus penelitian tidak terlalu luas. Beberapa batasan masalahnya antara lain:

- a. Menggunakan marker gambar ilustrasi yang ada di buku POA yaitu beresolusi 481 x 213 px.
- b. Metode yang digunakan adalah FAST Corner Detection
- c. Pada tahapan evaluasi FAST Corner dengan python, gambar yang digunakan merupakan gambar yang memiliki *collour pattern* RGB.
- d. Menggunakan multi platform (iOS dan Android) sebagai alat evaluasi.

- e. Kriteria pengujian adalah pada pembacaan marker (waktu 1 detik, jarak minimal 20 cm, sudut minimal 30° , intensitas cahaya dalam ruangan 20-200 lux, dan intensitas cahaya luar ruangan 200-1000 lux).
- f. Nilai star rating yang digunakan sebagai marker terbatas dengan skor 4 dan 5.
- g. Modeling dan animating menggunakan software Blender dan Unity.
- h. Pembuatan berupa Prototype pengujian Augmented Reality dengan menggunakan Unity 3D

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

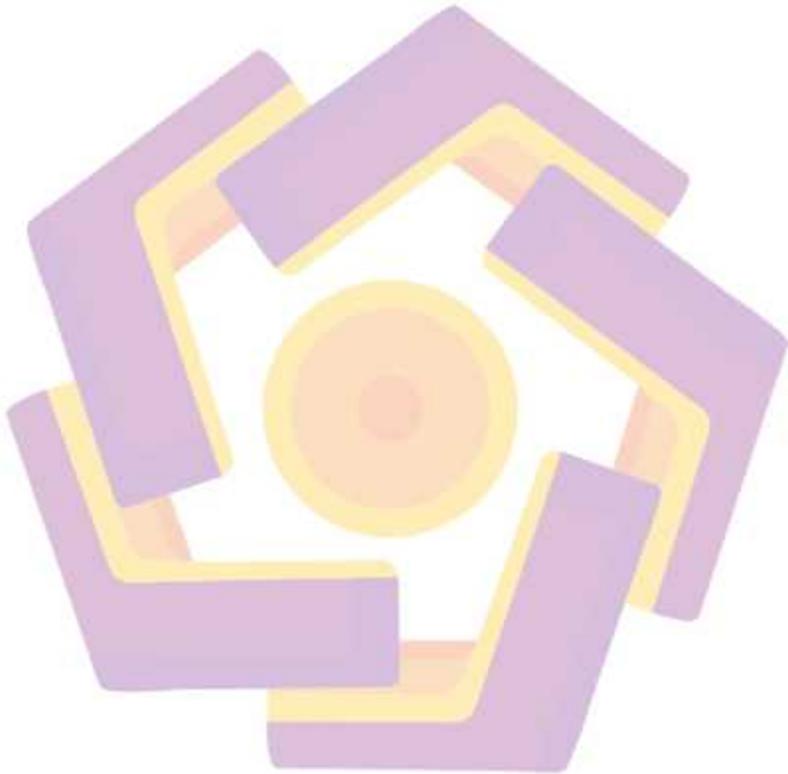
- a. Mengetahui dampak variabel kriteria yang digunakan dalam proses pembacaan marker pada buku Peralatan Olahraga Anak.
- b. Melakukan perbandingan hasil pendeteksian *Interest Point* dengan menggunakan python dan vuforia engine .
- c. Mengevaluasi objek gambar pada buku Peralatan Olahraga Anak sebagai deteksi marker Algoritma Fast Corner Detection

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini antara lain:

- a. Dapat memberikan informasi tentang pengaruh intensitas cahaya, jarak penempatan marker, dan spesifikasi sebuah piranti dalam keberhasilan Augmented Reality.
- b. Mendapatkan informasi tentang perbandingan Interest Point yang didapatkan ketika menggunakan Vuforia dan Python.

- c. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi dalam melakukan penelitian lanjutan atau pembuatan augmented reality dengan metode Fast Corner Detection.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Beberapa hasil penelitian yang digunakan sebagai acuan untuk penelitian antara lain:

Eis Akmeliny, dkk pada tahun 2019 melakukan penelitian tentang Augmented Reality menggunakan algoritma FAST Corner Detection 2D marker based sebagai alat bantu dalam visualisasi 3 dimensi katalog penjualan rumah. Didapatkan hasil dari penelitian bahwa pendeteksian marker dapat bekerja maksimal ketika jarak marker terhadap kamera diantara 10 cm – 30 cm dan pada sudut 60° sampai 90° dengan intensitas cahaya 40 – 1000 lux. Penelitian ini mendapatkan hasil akurasi pendeteksian marker sebesar 70% (Arini & Fitriana, 2019). Namun dalam penelitian tidak ada paparan terhadap cara algoritma FAST Corner bekerja didalamnya dan evaluasi dari komputasi gambar 2 dimensi hanya menggunakan platform sistem operasi Android.

Wahyu pada tahun 2016 melakukan penelitian terkait pengaruh penggunaan marker terhadap kemunculan objek pada Augmented Reality. Penelitian ini membuahkan hasil bahwa semakin besar *star rating* marker maka Semakin besar Star Rating marker maka jangkauan antara marker dengan perangkat penerima semakin jauh. Selain itu, objek 3D yang muncul akan stabil bila marker terlihat seluruhnya. (Wahyu 2016). Namun pada penelitian yang dilakukan, tidak

dipaparkan dengan jelas bagaimana Algoritma FAST Corner bekerja dan juga dalam evaluasi tidak disebutkan berapa intensitas cahaya yang digunakan.

Pada tahun 2020, Lilia menggunakan Augmented Reality sebagai alat bantu pembelajaran konsep astronomi, sehingga memberikan kemudahan bagi para guru dalam memberikan pemahaman kepada para siswa. Penelitian ini mengatakan bahwa belajar dengan menggunakan Augmented Reality jauh lebih meningkatkan motivasi belajar astronomy daripada melihat gambar 2 dimensi (Midak et al., 2020). Namun pada penelitian ini marker gambar 2 dimensi tidak dirubah kedalam grayscale, sehingga tingkat akurasi yang didapatkan tidak terlalu maksimal.

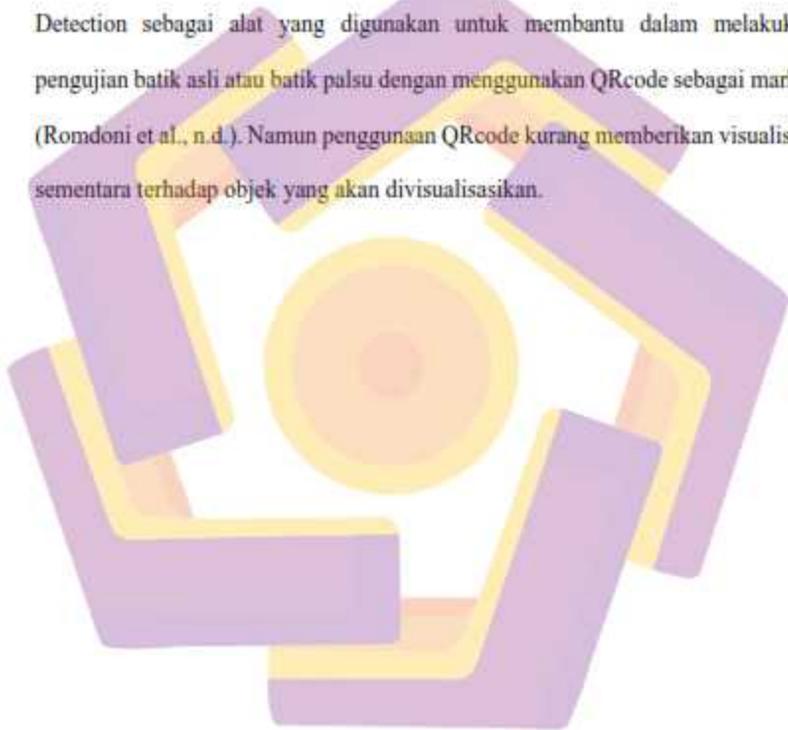
Nurhadi pada penelitiannya menggunakan FAST Corner kedalam Augmented Reality dan melakukan pembuktian bahwa algoritma SLAM memiliki batas pada kecepatan komputasi. Kesimpulan dari penelitian menjelaskan bahwa terlalu banyak pencahayaan (>200 lux) membuat evaluasi tidak dapat berjalan dikarenakan alat yang digunakan dalam evaluasi hanya dapat menampung kurang dari 200 lux (Nurhadi et al., 2019). Dalam penelitian ini tidak dijelaskan secara terperinci bagaimana FAST Corner bekerja.

Pada penelitiannya, Kusumaningsih melakukan pengukuran deteksi Augmented Reality pada game Heroes of Surabaya dan menghasilkan data tentang pengujian dalam pembacaan marker 2 dimensi yang tersedia (Kusumaningsih et al., 2020). Kekurangan pada penelitian ini adalah tidak adanya pengujian terhadap sudut dari pembacaan marker tersebut.

Penelitian yang dilakukan oleh Syihabudin pada tahun 2019 menggunakan Augmented Reality sebagai alat bantu dalam pengenalan hewan, dan penelitian ini menghasilkan data pengujian jarak dan sudut kamera terhadap gambar 2 dimensi,

kecepatan komputasi dari pembacaan marker 2 dimensi, dan pengaruh intensitas cahaya terhadap pembacaan marker 2 dimensi. (Syihabudin et al., 2020). Namun penelitian ini pengujiannya hanya pada platform Android saja dan tidak memberikan spesifikasi terhadap alat yang digunakan dalam melakukan pengujian.

Dadan menggunakan Augmented Reality dengan metode FAST Corner Detection sebagai alat yang digunakan untuk membantu dalam melakukan pengujian batik asli atau batik palsu dengan menggunakan QRcode sebagai marker (Romdoni et al., n.d.). Namun penggunaan QRcode kurang memberikan visualisasi sementara terhadap objek yang akan divisualisasikan.



2.2. Keaslian Penelitian

Implementasi metode Fast Corner pada Marker Base Augmented Reality ini dilakukan dengan sebenar-benarnya tanpa adanya unsur plagiarisme, oleh karena itu pada Tabel 2.1 dibuat *review* perbandingan posisi penelitian yang sedang dilakukan ini dengan penelitian lain yang terkait tentang Augmented Reality.

Tabel 2.1 Matriks literatur review dan posisi penelitian
Penerapan Teknologi Marker Augmented Reality Menggunakan Algoritma FAST Corner Detection Berbasis Mobile (Studi Kasus Buku Peralatan Olahraga Anak)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
1	Development and implementation of educational resources in chemistry with elements of augmented reality	Pavlo P. Nechypurenko, Viktoria G. Stoliarenko, Tetiana V. Starova, Tetiana V. Selivanova, Kryvyi Rih Metallurgical Institute of the National Metallurgical Academy of Ukraine, 2020	Melakukan pengujian pembelajaran dengan alat bantu dalam pemahaman di bidang chemistry.	Penelitian ini berhasil dilakukan dengan terbacanya marker 2 dimensi sebagai target visualisasi dari Augmented Reality.	Penelitian ini hanya berjalan pada satu platform saja yaitu Android. Kedepannya diharapkan untuk diterapkan pada platform yang memiliki sistem operasi iOS. Selain itu kelemahan dari penelitian ini adalah tidak adanya kriteria pengujian meliputi intensitas cahaya, jarak, dan sudut pembacaan marker.	Perbedaan dari penelitian ini dan penelitian yang akan diangkat adalah penelitian saat ini akan menambahkan algoritma yang digunakan dan memberikan kriteria evaluasi yaitu intensitas cahaya, jarak pembacaan marker, dan juga sudut dalam pembacaan marker tersebut. Selain itu penulis ingin menjadikan prototype ini menjadi multi mobile platform, yaitu android dan iOS.

Tabel 2.1. (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
2	Analisis Pengaruh Penggunaan Marker Terhadap Kemunculan Objek pada Aplikasi Augmented Reality	Raharjo W.K., Julinas, Avileti C.D., 2016,	Mendapatkan informasi tentang dampak <i>Star Rating</i> dalam pendeteksian Augmented Reality.	Semakin besar nilai <i>Star Rating</i> marker maka jangkauan antara marker dengan perangkat penerima semakin jauh. Selain itu intensitas cahaya yang semakin bertambah membuat jarak kemunculan objek 3D semakin besar.	Metode yang digunakan tidak dijelaskan secara terperinci bagaimana proses dalam menampilkan objek Augmented Reality.	Pada penelitian yang akan dilakukan, penulis akan menjelaskan tentang bagaimana FAST Corner Detection bekerja. Selain itu pada penelitian yang akan dilakukan, pada saat evaluasi penulis akan menggunakan alat ukur yang digunakan dalam mengukur intensitas cahaya.
3	Augmented reality in process of studying astronomic concepts in primary school	Liliia Ya. Midak, Ivan V. Kravets, Olga V. Kuzyshyn, Khrystyna V. Berladyniuk, Khrystyna V. Buzhdyhan I., Liliia V. Baziuk and Aleksandr D. Uchitel, CEUR Workshop Proceedings, 2020	Membantu proses pembelajaran dengan Augmented Reality dengan melakukan proses komputasi terhadap marker gambar 2 dimensi.	Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa metode fast corner dengan marker citra 2 dimensi non grayscale yang digunakan dapat berjalan.	Dengan format non grayscale, penentuan titik pusat marker pada fast corner kurang begitu akurat. Hal ini terjadi karena penentuan gelap, normal, dan cerah tidak terdeteksi dengan baik, sehingga akan ada <i>lost marker detection</i> pada pembacaan marker.	Perbedaan dari penelitian ini dan penelitian yang akan diangkat adalah penelitian yang akan dilakukan melakukan konversi gambar dari non grayscale menjadi grayscale terlebih dahulu. Sehingga proses perhitungan pusat marker akan lebih akurat.

Tabel 2.1. (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
4	Pengembangan Aplikasi Katalog Rumah Berbasis Augmented Reality Menggunakan Algoritma FAST	Eis Akmeliny Fitrana, Anif Hanifa Setyaningrum, Arini, JISKA, 2019	Mengembangkan media promosi menggunakan Augmented Reality dengan melakukan pengujian marker terhadap intensitas cahaya, jarak dan sudut marker dengan kamera.	Intensitas cahaya berpengaruh terhadap keberhasilan kompetisi dari marker 2 dimensi.	Untuk memberikan hasil yang maksimal dalam algoritma FAST Corner, langkah lebih baik jika merubah marker kedalam bentuk grayscale. Sehingga marker dapat bekerja dengan baik tanpa adanya error penampiran Augmented Reality.	Perbedaan dari penelitian ini dan penelitian yang akan diangkat adalah pada proses pembuatan marker. Pada penelitian yang akan diangkat, marker 2 dimensi akan dirubah kedalam grayscale terlebih dahulu.
5	Prospects of using the augmented reality application in STEM-based Mathematics teaching	Tetiana H. Kramarenko, Olha S. Pylypenko and Vladimir I. Zaslavskiy, Educational Dimension, 2019	Membuktikan peranan Augmented Reality dalam media pembelajaran	Augmented Reality sangat berguna dalam pelatihan pemahaman di bidang matematika.	Prospek yang ditunjukkan dalam aplikasi yang sudah dibuat memberikan pengetahuan bahwa Augmented Reality memang dibutuhkan dalam peningkatan pemahaman akan visualisasi terhadap materi yang disampaikan, namun aplikasi yang dihasilkan baru mencakup satu platform saja. Selain itu tidak ada kriteria pengujian terkait pembacaan marker.	Perbedaan dari penelitian ini dan penelitian yang akan diangkat adalah penelitian saat ini akan menggunakan algoritma FAST Corner Detection dan memberikan kriteria tambahan yaitu, jarak pembacaan marker, dan juga sudut dalam pembacaan marker tersebut. Selain itu penulis ingin menjadikan prototype ini menjadi multi mobile platform, yaitu android dan iOS.

Tabel 2.1. (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
6	Recent Development of Augmented Reality in Surgery: A Review	P. Vávra, J. Roman, P. Zonča, P. Ihnát, M. Němec, J. Kumar, N. Habib, and A. El-Gendi, <i>Journal of Healthcare Engineering</i> , 2017	Menggunakan Augmented Reality sebagai alat bantu operasi bedah.	Augmented Reality dapat digunakan sebagai alat bantu pembelajaran. Selain menggunakan cara tradisional dalam pembelajaran, Augmented Reality lebih efektif dalam pemahaman dikarenakan ada visualisasi tentang <i>surgery</i> .	Aplikasi hanya berjalan pada platform android, sedangkan seharusnya bisa berjalan juga pada iOS. Selain intensitas cahaya yang berpengaruh, ada lagi kriteria yang harus ditambahkan dalam pengujian yaitu jarak dan sudut ketika marker akan dibaca oleh camera.	Perbedaan dari penelitian ini dan penelitian yang akan diangkat adalah penelitian saat ini akan menggunakan algoritma FAST Corner Detection dan memberikan kriteria tambahan yaitu, jarak pembacaan marker, dan juga sudut dalam pembacaan marker tersebut. Selain itu penulis ingin menjadikan prototype ini menjadi multi mobile platform, yaitu android dan iOS.
7	Aplikasi Augmented Reality (AR) dengan Metode Marker Based sebagai Media Pengenalan Hewan Darat pada Anak Usia Dini menggunakan Algoritma Fast Corner Detection (FCD)	Adryan Syahputra, Septi Andryana, Aris Gunaryati, <i>Journal JTJK</i> , 2020	Menerapkan Marker Augmented Reality dalam pemanfaatan teknologi sebagai media pembelajaran dan melakukan pengujian proses komputasi marker terhadap intensitas cahaya, jarak dan sudut marker terhadap kamera.	Pada penelitian ini, didapatkan kesimpulan bahwa pada proses komputasi marker bisa berjalan dengan baik jika berada pada jarak 10cm di sudut 80-90 derajat dan pada intensitas cahaya yang terang	Pada intensitas cahaya, tidak disebutkan secara detail berapa lux cahaya yang digunakan.	Perbedaan dari penelitian yang akan dilakukan adalah penulis akan menambahkan satuan intensitas cahaya yang digunakan agar hal tersebut dapat memberikan informasi dan rekomendasi terhadap cahaya yang seharusnya digunakan.

Penelitian ini difokuskan untuk melakukan pengujian deteksi marker Augmented Reality dengan algoritma Fast Corner Detection pada sistem operasi Android dan iOS. Perbedaan yang mencolok pada penelitian ini dengan penelitian yang telah *direview* adalah metode FAST Corner akan dijelaskan secara detail tentang proses dari FAST Corner. Lalu dalam evaluasi yang dilakukan, penulis akan menggunakan dua sistem operasi yang berbeda pada smartphone dan dari sisi kriteria evaluasi, penulis akan mengkombinasikan beberapa kriteria pengujian lain agar hasil pembacaan marker lebih akurat.



2.3. Landasan Teori

2.3.1 Augmented Reality

Augmented Reality adalah visualisasi yang ditingkatkan yang dibuat oleh penggunaan teknologi untuk memberikan informasi digital pada sebuah gambar yang dilihat. Augmented Reality pada dasarnya terdiri dari komputasi dari tanda 2 dimensi dengan perspektif visual pengguna untuk melihat elemen tambahan, sehingga menambah ruang pengguna untuk bervisualisasi. Augmented Reality merupakan kemampuan untuk mengintegrasikan data digital ke dalam pengalaman real-time Augmented Reality memanipulasi otak seorang manusia untuk merasakan unsur-unsur yang tidak ada secara fisik di sana. Rangsangan yang ditambahkan secara digital tampak ada dalam pikiran seseorang, namun yang terjadi sebenarnya adalah konten buatan yang dilapisi secara visual. Augmented Reality merupakan ilusi dengan kemungkinan yang menjanjikan. Augmented Reality merupakan teknologi baru yang menarik, dan menyimpan potensi besar. Malik menyatakan bahwa, bagi mereka yang telah percaya pada augmented reality, ini adalah saat-saat yang menyenangkan (Kenneth J, 2019).

Augmented Reality memiliki 4 perangkat penting dalam menggunakannya, yaitu displays, input devices, tracking, dan computer.

2.3.2 Display

Ada 3 jenis perangkat yang digunakan dalam display, yaitu head mounted display (HMD), handheld display dan spatial display. HMD merupakan sebuah perangkat yang di gunakan pada Virtual Reality. Dengan perkembangannya, HMD digunakan juga kedalam Mixed Reality. Hal ini memungkinkan menguasai pikiran dan lingkungan seseorang secara penuh. Berbeda dengan HMD, handheld display

tidak menguasai pikiran seseorang secara penuh. Hal ini terjadi karena alat penampil dari Augmented Reality hanya sebatas pada handheld saja sehingga memungkinkan manusia tetap bisa menikmati lingkungan sekitarnya. Dalam perkembangannya handheld display digunakan dalam Augmented Reality dan Mixed Reality (Furth, 2011).

2.3.3 Input Device

Ada banyak jenis inputan yang dapat digunakan pada Augmented Reality. Pada suatu sistem Reitmalyr menggunakan sarung tangan sebagai inputan dalam menggunakan Augmented Reality. Sehingga dapat melakukan sentuhan secara langsung terhadap objek visualisasi.

2.3.4 Tracking

Alat yang digunakan dari tracking sebuah Augmented Reality adalah camera. Camera disini berfungsi sebagai pengganti mata dari manusia. Sehingga objek yang sudah dibuat bisa terbaca dan ditampilkan visualisasinya (Furth, 2011)..

2.3.5 Computer

Augmented Reality membutuhkan kemampuan komputasi yang sangat besar. Hal ini terjadi karena ketika proses komputasi dari kamera yang berbentuk gambar harus bisa dengan *real-time* ditampilkan ke display (Furth, 2011)..

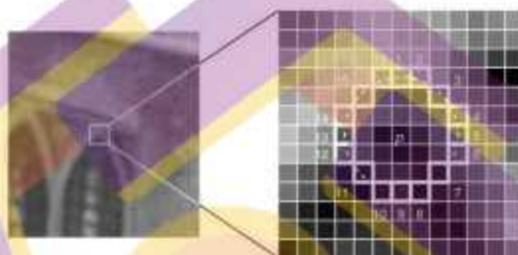
2.3.6 FAST Corner Detection

Fast Corner Detection merupakan sebuah algoritma yang diciptakan karena visualisasi realtime yang tidak cukup cepat dan memiliki source komputasi yang tidak terbatas. Salah satu contoh yang sering digunakan adalah algoritma *Simultaneous Localization and Mapping* atau biasa disebut dengan SLAM. SLAM memiliki tingkat komputasi yang sangat terbatas. Untuk mengatasi permasalahan

tingkat komputasi yang terbatas ini, Edward Rosten dan Tom Drummond mengusulkan sebuah algoritma yang memungkinkan melakukan komputasi secara *real-time*. Sehingga terciptalah algoritma *Features from Accelerated Segment Test*.

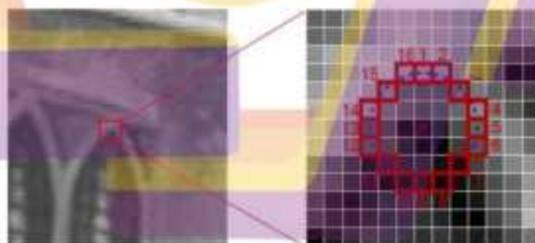
Dalam penggunaannya FAST Corner Detection melakukan sebuah proses seperti berikut (Rofiudin M,2021):

- a. Menentukan sebuah titik p pada marker dengan posisi awal (x,y) dan nilai threshold seperti pada gambar 1 dibawah



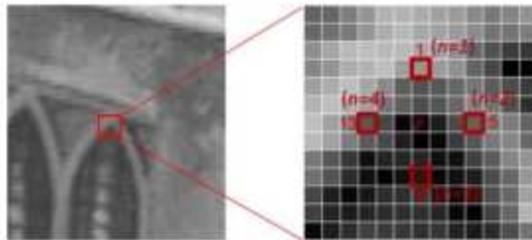
Gambar 2.1 Menentukan titik p awal

- b. Menentukan 16 titik pixel dengan radius 3 pixel dari titik p seperti pada Gambar 2.



Gambar 2.2 Menentukan 16 titik pixel

- c. Tentukan lokasi 4 titik dari 16 pixel. Pertama ($n=1$) koordinat (x_p, y_{p+3}) , kedua ($n=2$) koordinat (x_{p+3}, y_p) , ketiga ($n=3$) koordinat (x_p, y_{p-3}) , dan keempat ($n=2$) koordinat (x_{p-3}, y_p) seperti pada Gambar 3



Gambar 2.3 Titik p para koordinat n

d. Setelah itu bandingkan intensitas titik pusat p dengan keempat titik disekitar. Titik pusat p merupakan titik sudut atau corner seperti, dan apabila terdapat paling sedikit 3 titik yang memenuhi 3 kategori yang ditetapkan dalam algoritma FAST Corner Detection yaitu :

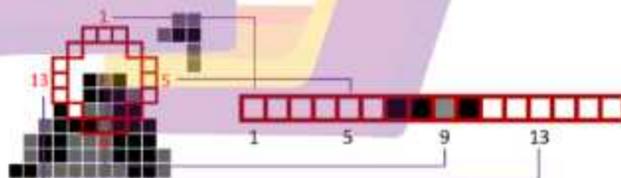
$$S_p \rightarrow x = \begin{cases} d, & I_x \leq I_p - t & \text{(Lebih Gelap)} \\ s, & I_p - t < I_x < I_p + t & \text{(Serupa)} \\ b, & I_p + t \leq I_x & \text{(Lebih Cerah)} \end{cases}$$

Keterangan :

$S_p \rightarrow s$ = Intensitas titik pusat

$I_{p \rightarrow x}$ = Intensitas pixel x

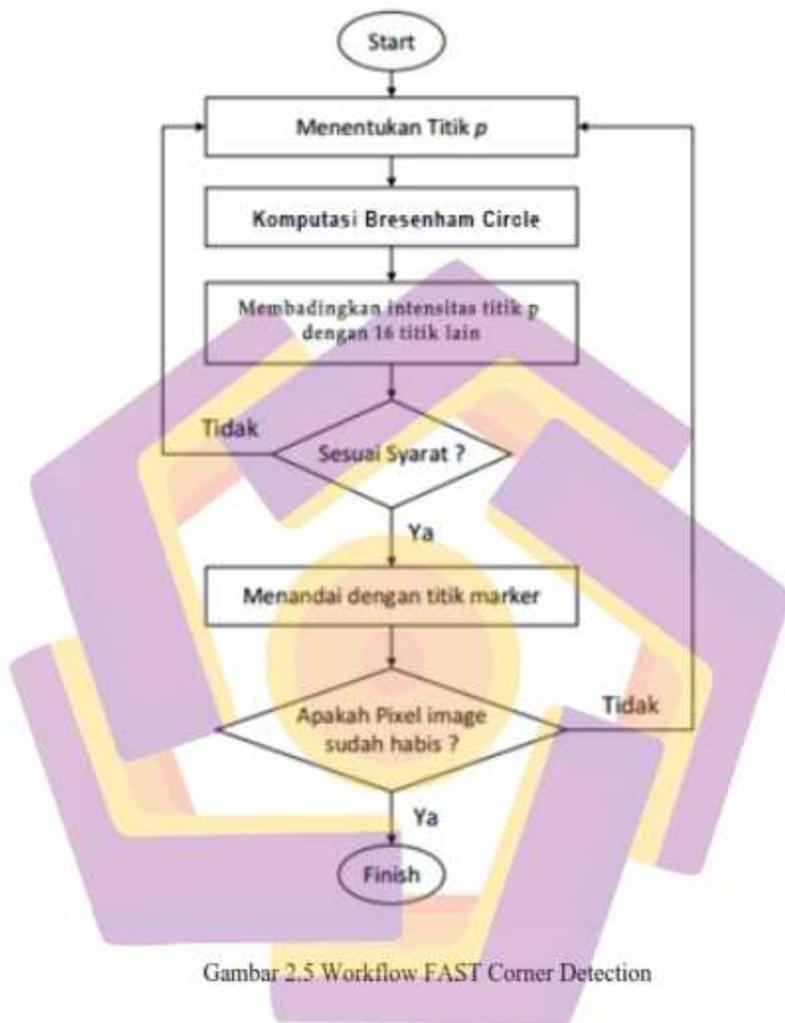
t = Treshold



Gambar 2.4 Perbandingan intensitas titik p

e. Ulangi proses hingga seluruh titik pada gambar sudah dibandingkan intensitasnya.

Algoritma FAST Corner detection memiliki workflow sebagai berikut :



Dari gambar 2.5, tahap awal dari FAST Corner adalah memilih citra yang akan digunakan sebagai marker. Selanjutnya adalah menentukan 1 piksel yang akan digunakan sebagai titik p dan selanjutnya piksel p tersebut bisa memiliki 16 titik piksel yang digunakan dalam proses Bresenham Circle. Selanjutnya 16 titik piksel tersebut di bandingkan intensitasnya, apakah lebih terang, lebih gelap, atau

memiliki nilai yang sama. Ketika sudah selesai membandingkan nilai intensitas titik p dengan ke 16 titik tersebut, langkah selanjutnya adalah menghitung total titik yang lebih terang, lebih gelap atau sama valuenya. Ketika pada disekitar titik p tersebut memiliki 3 titik yang lebih terang dan 3 titik yang lebih gelap, maka titik p tersebut sudah memenuhi syarat sebagai corner. Jika belum memenuhi syarat 3 titik lebih gelap dan 3 titik lebih terang, maka titik tersebut bukanlah corner dan ulangi lagi di piksel lainnya. Ketika sudah mendapatkan titik p yang sesuai dengan perbandingan intensitas dengan Bresenham Circle, titik tersebut dijadikan sebagai Interest point dan akan digunakan sebagai titik marker. Ketika piksel masih ada ulangi lagi langkah diatas hingga titik piksel habis, jika titik piksel sudah habis maka algoritma FAST Corner sudah selesai.

Algoritma FAST Corner Detection sendiri memiliki tingkat kecepatan dan akurasi yang diberikan. Dalam penelitiannya Siswanto melakukan penelitian perbandingan kecepatan dari Harris Corner, Edge Based Corner Detection, dan FAST Corner Detection untuk mendeteksi senyum pada wajah manusia (E. R. S. Siswanto, 2013). Penelitian ini menghasilkan hasil sebagai berikut :

Tabel 2.2 Akurasi dan kecepatan komputasi

Metode	Akurasi (%)	Kecepatan Komputasi (ms)
<i>Harris Corner Detection</i>	29	70.9
<i>Edge Based Corner Detection</i>	42	50.9
<i>FAST Corner Detection</i>	59.5	13.1

2.3.7 Bresenham Circle

Dalam algoritma FAST Corner Detection, Bresenham Circle digunakan sebagai penentuan titik pusat. Dari setiap corner yang memiliki 2 warna yang lebih cerah atau lebih gelap dari titik pusat akan masuk kedalam *gradient orientation*. Pada Algoritma FAST Corner Detection menggunakan 16 pixel kotak yang saling berkaitan. Pada teknologi sebelumnya menggunakan 9 kotak pixel dan 10 kotak

sebuah citra. Kemampuan Vuforia untuk registrasi gambar memungkinkan pengembang untuk memposisikan dan mengarahkan objek virtual, terutama objek 3D atau jenis media lainnya. Objek virtual tersebut kemudian dapat melacak posisi dan orientasi bayangan nyata dan secara real time. Hal ini menyebabkan sudut pandang pengguna terhadap objek tersebut sesuai dengan sudut pandang mereka terhadap dunia nyata yang dituju menjadi lebih bebas. Dengan cara ini, objek atau objek virtual muncul seolah-olah dari objek dunia nyata lainnya. Vuforia SDK mendukung berbagai jenis target, baik 2D maupun 3D, termasuk konfigurasi multi-target, markerless, dan marker. Unity terdiri dari editor untuk mengembangkan/mendesain konten dan mesin game untuk mengeksekusi produk akhir. Dengan cara ini, SDK mendukung pengembangan asli untuk iOS dan Android, sekaligus memungkinkan pengembangan aplikasi AR di Unity yang mudah dibawa-bawa ke kedua platform. Aplikasi Augmented Reality yang dikembangkan menggunakan Vuforia mencakup desktop Personal Computer, smartphone dengan sistem operasi iOS dan Android. (Ibañez, 2013).

Vuforia memakai Algoritma FAST Corner Detection untuk memilih seberapa baik gambar bisa dideteksi & dilacak. Vuforia merupakan Augmented Reality Software Development Kit (SDK) pada perangkat Android dan iOS yg memungkinkan untuk pembuatan Augmented Reality. Keuntungan dalam menggunakan Algoritma FAST adalah pada kecepatan operasi dan komputasi yg rendah dibandingkan menggunakan algoritma pencari sudut lainnya yang memiliki dampak terhadap berkurangnya akurasi deteksi sudut. Di Vuforia terdapat Star Rating yg ditampilkan pada Target Manager. Star Rating memiliki nilai berkisar dari 0 sampai 5 untuk setiap citra. Semakin tinggi nilai Star Rating pada citra, maka semakin baik juga citra tersebut di Augmentasikan (Zuli, 2018)



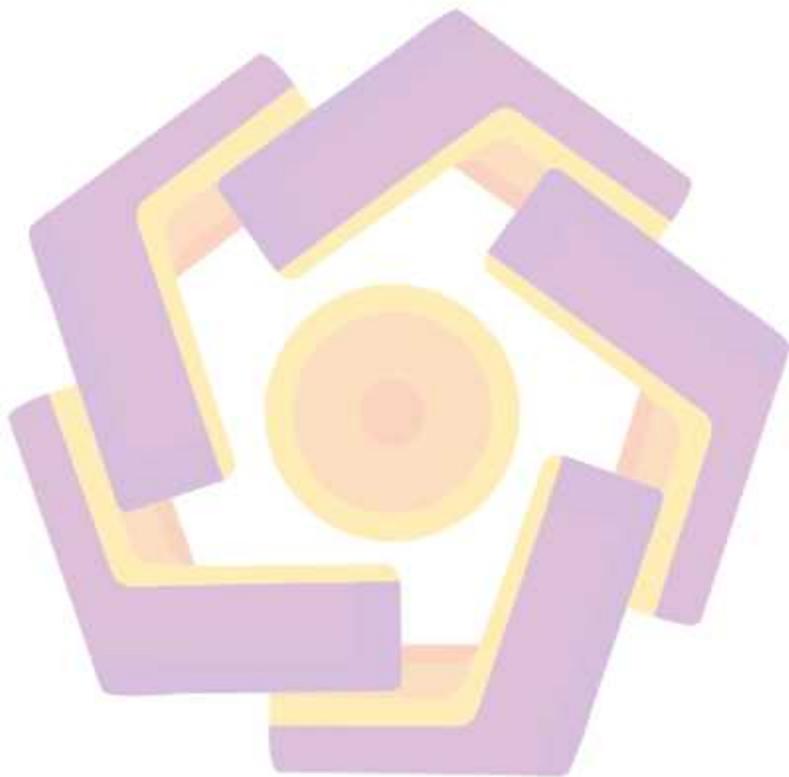
Gambar 2.8 Citra yang Terproses

Selanjutnya citra yang sudah terupload kedalam database di unduh untuk dimasukkan kedalam Unity3D.

2.3.9 Unnty 3D

Unity 3D adalah mesin game lintas platform yang terutama digunakan untuk membuat game. Melalui render grafisnya yang kuat dan alat pengembangan intuitif menjadikannya pilihan yang lebih disukai untuk mengembangkan simulasi yang realistis, efisien, dan mudah diterapkan. Unity didukung oleh komunitas pengembang yang besar dan juga aktif sehingga sekarang sudah berkembang lebih pesat dibandingkan pada munculnya di tahun 2005. Game dan simulasi yang dikembangkan di Unity dapat digunakan di sebagian besar platform termasuk Windows, MacOS, dan Android. Unity 3D menggunakan C# sebagai bahasa pemrograman dan menyediakan beberapa API untuk melakukan simulasi pada dunia nyata. Lingkungan pengembangan yang disediakan oleh Unity dan alur kerjanya yang intuitif memudahkan pengembang untuk mulai mengembangkan game dan simulasi. Mekanisme drag and drop memudahkan untuk mengimpor dan

memposisikan objek, menambahkan komponen, dan juga menulis script. Spesifikasi (Osa, 2021).



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis, Sifat dan Pendekatan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan jenis penelitian eksperimental, karena terdapat serangkaian proses seperti perubahan gambar ke bentuk *Grayscale*, preprocessing, perhitungan *corner*, proses olah gambar dan implementasi kedalam *Augmented Reality*. Objek yang akan diteliti adalah buku Peralatan Olahraga Anak serta marker yang akan digunakan adalah gambar pada buku peralatan Olahraga Anak yang kemudian dirubah kedalam bentuk *Grayscale*. Untuk alat penelitian pada *Features from Accelerated Segment Test Corner Detection* menggunakan *openCV*, *matplotlib*, dan *numpy* lalu di compile dengan menggunakan *python*. Sedangkan pada bagian *Augmented reality*, aplikasi yang digunakan sebagai alat evaluasi adalah *prototype* aplikasi yang dibuat dengan *Unity 3D* dengan menggunakan *Vuforia SDK*. Untuk platform evaluasi yaitu menggunakan sistem operasi android dan *iOS*. Kemudian untuk hasilnya adalah melakukan perbandingan hasil pendeteksian *Interest Point* dengan menggunakan *python* serta *vuforia* digunakan untuk mengetahui dampak dari variabel kriteria yang digunakan dalam proses pembacaan marker pada buku Peralatan Olahraga Anak.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang akan digunakan dalam proses penelitian didapatkan dari buku Peralatan Olahraga Anak. Selanjutnya citra yang didapatkan di olah menggunakan software *Matlab* untuk mendapatkan nilai angka RGB dan *Grayscale*. Lalu pada tahap berikutnya data nilai tersebut diolah menggunakan *Phyton* untuk

mendapatkan data Interest Point. Dari data sebelumnya diolah kembali dengan Vuforia untuk mendapatkan data citra 2d yang augmentedable (dapat digunakan sebagai bahan evaluasi). Sedangkan untuk data perancangan animasi dan model 3 dimensi diperoleh dari hasil wawancara dengan penulis buku Peralatan Olahraga Anak.

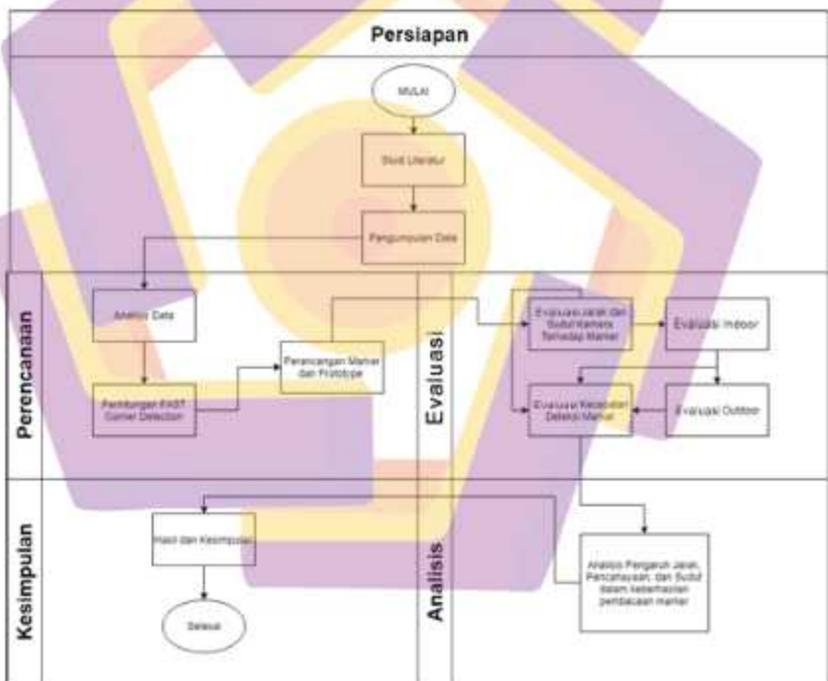
3.3 Metode Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan berupa angka, yaitu angka nilai RGB dan Grayscale dari citra 2D. Angka nilai yang didapatkan dari Matlab kemudian diolah menggunakan software Microsoft Excel untuk mendapatkan angka nilai dari citra Grayscale. Lalu selanjutnya, peneliti menggunakan software Adobe Photoshop yang digunakan untuk memeriksa nilai angka pada citra 2D yang digunakan untuk evaluasi penelitian. Berikutnya peneliti menggunakan Vuforia untuk mendapatkan nilai star rating citra 2D. Citra yang digunakan sebagai marker kemudian dimasukkan kedalam Vuforia Target Manager untuk dicari Interest Pointnya dan dilihat Star Ratingnya. Setelah itu database yang sudah menyimpan data citra tersebut di masukan kedalam unity untuk dilakukan proses scripting dijadikan marker. Kemudian data star rating tersebut digunakan untuk melakukan proses augmented reality yang digunakan dalam evaluasi processing augmented reality.

3.4 Alur Penelitian

Alur penelitian berawal dari mencari studi literatur yang berkaitan dengan Augmented Reality, Marker based, dan Algoritma FAST Corner Detection. Algoritma FAST Corner sebelum digunakan akan dilakukan evaluasi terlebih dahulu dengan python dan Matlab. Matlab dan python digunakan dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana Algoritma FAST Corner bekerja. Pada tahap evaluasi, langkah pertama yang dilakukan adalah dengan mencari data yang akan di proses

dan merubah ke *Grayscale*. Tahapan berikutnya adalah melakukan evaluasi pembacaan marker yang sudah di rubah kedalam bentuk *Grayscale* kedalam Unity 3D untuk dilakukan evaluasi pembacaan marker dengan menggunakan metode FAST Corner Detection. Jika sudah bisa berjalan dengan baik, model 3 dimensi di masukan kedalam Unity 3D untuk di masukan kedalam prototype. Selanjutnya adalah evaluasi dengan menggunakan kriteria yang sudah ditentukan (jarak, sudut, dan intensitas cahaya) untuk mengetahui bagaimana performa marker dan prototype jika diberikan evaluasi dengan kriteria tersebut.



Gambar 3.1 Alur Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Tahap Perencanaan

Pada pengujian metode FAST Corner, tahapan pengujian yang dilakukan oleh penulis adalah dengan menggunakan Python versi 2.7.14, dengan bantuan matplotlib untuk membantu menandai dan menghitung posisi corner dan openCV untuk membantu dalam membaca, menulis serta menampilkan citra.

Untuk pengujian Augmented Reality menggunakan metode FAST Corner Detection yang interest pointnya diolah oleh vuforia engine dibutuhkan beberapa alat yang digunakan untuk mendukung pelaksanaan penelitian antara lain :

1. Intensitas Cahaya

Untuk intensitas cahaya, pengujian dilakukan di dalam ruangan dan diluar ruangan. Pada kondisi dalam ruangan memiliki kriteria dengan luas ruangan 4x4 m². Pencahayaan bersumber dari lampu 30W dan cahaya jendela 1 buah berukuran 0,4m x 1,5m menghadap ke utara. Pada kondisi luar ruangan akan dilakukan pada waktu 11.00 – 13.00 dalam kondisi cerah.

2. Peralatan Uji

a. Lampu

Untuk lampu yang digunakan dalam pengujian berjenis LED dengan merk Philips dan memiliki besaran watt 30.

b. Smartphone

Smartphone digunakan untuk menerima dan memproses hasil tangkapan marker dengan menggunakan camera. Untuk spesifikasi smartphone yang digunakan dalam pengujian ditampilkan dalam Tabel 4.1

Tabel 4.1 Spesifikasi Perangkat

Perangkat	OS	CPU (Chipset)	Resolusi	Kamera
Redmi Note 5A	Android 7.12	Octa-core 1.4 GHz Cortex-A53 (Snapdragon 435 28 nm)	720x1280 px (16:9 ratio)	13MP
Samsung Galaxy A5 2017	Android 8.0	Octa-core 1.9 GHz Cortex-A53 (Exynos 7880 14nm)	1080 x 1920 px (16:9 ratio)	16 MP
iPhone 6	iOS 12.5.5	Dual-core 1.4 GHz Typhoon (A8 20nm)	750 x 1334 px (16:9 ratio)	8 MP
iPhone 7+	iOS 15.1	Quad-core 2.34 GHz (2x Hurricane + 2x Zephyr) (16 nm)	1080 x 1920 pixels	12MP

c. Lux Meter

Digunakan sebagai pengukur intensitas cahaya.

d. Marker

Marker digunakan untuk melakukan processing citra 2D kedalam citra 3D pada smartphone.

e. Desain Arsitektur Pengujian

Marker yang ada pada buku Peralatan Olahraga Anak diletakan diatas meja atau bidang datar lainnya. Kemudian smartphone diarahkan dengan jarak 7cm,

10cm, 15cm, 20cm, 30cm, dan 40cm. Lalu untuk pengecekan sudut berada pada jarak 20cm dengan sudut yang diujikan adalah 30°, 60°, dan 90°.

f. Software Evaluasi

Software yang digunakan dibuat dengan menggunakan Unity 3D dan menggunakan bahasa C#. Alat bantu yang digunakan dalam menentukan interest point FASTCD adalah Vuforia SDK.

4.2 Tahap Evaluasi

4.2.1 Evaluasi FAST Corner Detection

Pada tahap evaluasi Feature from Accelerated Segment Test (FAST) Corner Detection dilakukan pula beberapa proses lainnya pada Algoritma FAST Corner Detection untuk mendeteksi fitur pada citra dengan tahapannya sebagai berikut:

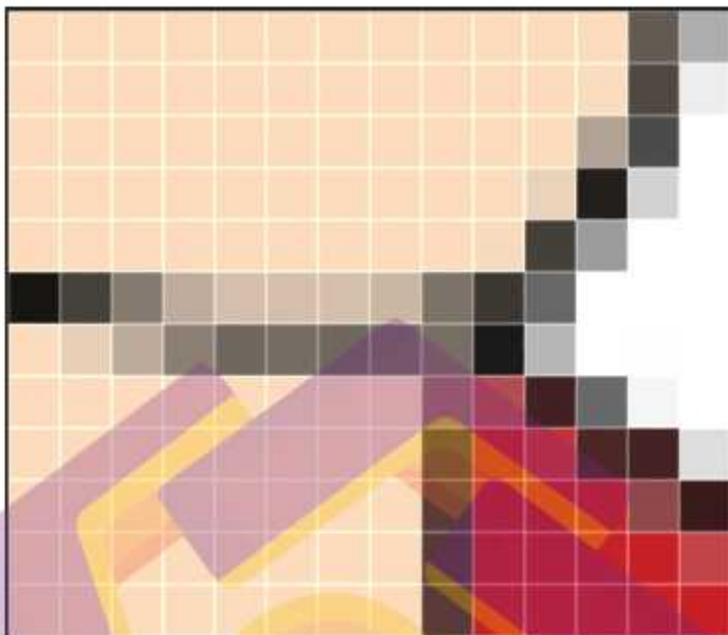
1. Proses *grayscale*

Tahapan awal yang perlu dilakukan adalah mengubah citra RGB menjadi citra *grayscale*. Berikut merupakan perhitungan konversi yang dapat dilakukan dengan mengambil rata-rata dari nilai RGB seperti pada persamaan 4.1

$$I = ((0,3 \times R) + (0,59 \times G) + (0,11 \times B)) \quad 4.1$$

Dimana R, G, dan B merupakan nilai dari warna red green dan blue pada tiap pikselnya. Sedangkan untuk I merupakan hasil *grayscale* nya.

Sebagai contoh perhitungan dengan menggunakan persamaan 4.1, peneliti mengambil 14 piksel x 12 piksel dari marker dan menggunakan gambar 4.1 dalam sample perubahan citra RGB menjadi citra *grayscale*.



Gambar 4.1 Potongan Sample Citra RGB

Dibawah ini merupakan angka nilai RGB yang diperoleh dari potongan sample Gambar 4.1

Nilai Warna Merah													
251	251	255	255	255	253	251	251	250	251	254	254	200	173
254	255	255	253	255	252	253	255	255	251	251	247	80	238
251	251	252	252	255	252	253	251	253	250	254	178	74	254
254	253	251	251	250	254	253	253	253	251	238	35	208	253
251	251	251	253	255	252	253	251	251	248	70	156	253	253
26	72	136	186	212	213	230	200	124	61	304	250	255	255
248	251	188	140	117	117	113	138	122	26	184	251	254	251
253	252	253	253	255	253	253	250	157	182	83	107	245	253
255	255	255	253	253	253	253	253	87	188	186	70	88	232
253	253	255	253	255	253	253	253	82	188	188	188	144	57
255	255	255	253	255	255	255	255	88	188	188	203	197	184
253	253	253	253	255	253	253	253	89	201	188	188	188	188
Nilai Warna Hijau													
221	221	220	220	220	220	220	220	222	220	216	218	91	171
218	220	220	219	218	218	220	220	218	220	220	220	73	238
220	220	221	219	220	219	220	220	220	221	218	162	76	253
219	220	218	220	219	221	220	220	220	220	210	31	210	253
221	221	221	220	220	219	220	220	220	219	83	156	255	254
22	65	123	173	191	180	192	183	116	54	108	253	255	254
221	207	171	198	205	198	192	196	208	26	183	253	254	255
220	219	220	220	220	201	220	219	110	77	83	100	249	220
220	220	220	220	220	220	220	220	18	48	38	38	38	232
220	220	220	220	220	220	220	220	58	52	52	33	72	21
220	220	220	220	220	220	220	220	38	32	32	32	32	88
220	220	220	220	220	220	220	220	80	82	82	82	82	82
Nilai Warna Biru													
187	187	187	187	187	187	187	187	185	187	188	84	171	
187	188	188	183	183	185	188	188	181	188	188	188	65	238
188	188	190	188	187	188	187	188	188	188	187	148	73	253
187	188	187	188	188	188	187	187	188	188	187	28	212	253
185	187	187	187	187	188	188	188	188	185	185	156	253	253
21	36	114	157	172	169	172	163	100	46	205	250	255	255
183	181	155	114	94	88	83	97	101	24	181	233	254	223
187	186	188	188	188	188	188	188	102	82	81	108	245	253
188	188	188	188	188	188	188	188	52	47	53	39	98	222
188	188	188	188	188	188	188	188	56	56	56	37	73	26
188	188	188	188	188	188	188	188	53	39	56	39	56	72
188	188	188	188	188	188	188	188	36	37	38	37	40	37

Gambar 4.2 Nilai RGB

Dari nilai-nilai angka diatas kemudian diolah dan diproses kembali menggunakan persamaan 4.1 sehingga didapatkan hasilnya sebagai berikut:

Nilai Warna Merah												
75	75	76	76	76	76	75	75	75	75	76	76	80
76	76	76	76	76	76	76	76	77	75	75	74	74
75	75	76	76	76	76	76	75	76	75	76	55	22
76	76	75	75	75	76	76	76	76	75	71	11	63
75	75	75	76	76	76	76	76	75	75	21	47	77
8	22	41	57	64	63	63	60	57	18	51	77	77
74	60	56	42	34	35	33	35	37	8	55	77	76
76	76	76	76	76	76	75	75	47	55	18	52	74
76	76	76	76	76	76	76	76	26	60	60	24	21
76	76	76	76	76	76	76	76	28	59	59	60	43
76	76	76	76	76	76	76	76	27	58	60	60	59
76	76	76	76	76	76	76	76	27	60	58	60	60
Nilai Warna Hijau												
130	130	130	130	130	130	130	130	133	130	129	126	54
130	130	129	129	129	130	130	129	130	130	130	130	43
130	130	129	130	129	130	130	130	130	129	96	45	150
130	129	130	129	130	130	130	130	130	124	18	124	150
130	130	130	130	129	130	130	130	129	57	92	130	150
86	71	102	113	112	113	108	88	52	65	149	150	150
122	101	76	61	64	60	63	66	15	108	150	150	150
129	130	130	130	130	130	129	65	45	19	62	145	150
130	130	130	130	130	130	130	34	18	28	25	21	131
130	130	130	130	130	130	130	34	19	19	19	42	15
130	130	130	130	130	130	130	34	19	19	19	19	40
130	130	130	130	130	130	130	35	19	18	19	19	19
Nilai Warna Biru												
21	21	21	21	21	21	21	21	20	21	21	21	8
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	7
21	21	21	21	21	20	21	21	21	21	21	16	8
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	5	23
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	6	17	26
8	13	17	19	19	19	18	12	5	12	28	28	28
30	17	13	30	15	10	11	11	3	20	28	28	26
25	21	21	21	21	21	21	21	11	6	3	12	27
21	21	21	21	21	21	21	6	4	6	4	4	24
21	21	21	21	21	21	21	6	4	4	4	4	3
21	21	21	21	21	21	21	6	4	4	4	4	4
21	21	21	21	21	21	21	6	4	4	4	4	4

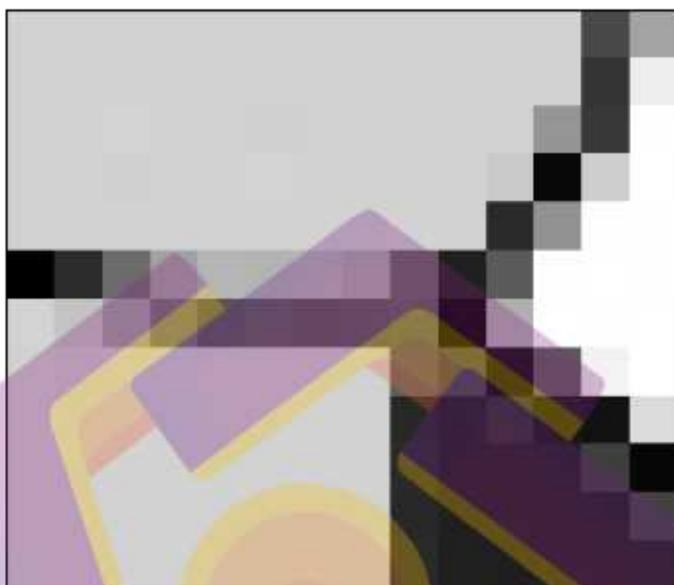
Gambar 4.3 Nilai RGB Setelah Konversi

Selanjutnya nilai angka RGB pada Gambar 4.3 dilakukan proses penjumlahan pada setiap tabel nilai warna untuk mendapatkan nilai angka Grayscale dari potongan sample Gambar 4.1 diatas.

Nilai Grayscale												
226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	95	173
226	226	228	228	226	223	226	226	226	226	226	223	14
226	226	227	223	226	223	226	226	226	226	226	165	75
226	226	224	228	225	227	226	226	226	226	215	32	210
226	226	226	226	226	223	226	226	226	225	64	156	255
25	66	126	176	305	184	305	186	117	55	305	254	255
226	213	174	180	305	110	304	108	112	26	183	255	254
226	225	226	226	226	226	226	223	123	100	42	100	245
226	226	226	226	226	226	226	226	86	83	84	51	45
226	226	226	226	226	226	226	226	88	82	83	83	94
226	226	226	226	226	226	226	226	87	83	83	83	82
226	226	226	226	226	226	226	226	88	83	82	83	83

Gambar 4.4 Nilai Grayscale Contoh 1

Setelah melalui proses konversi nilai RGB ke Grayscale, potongan sample Gambar 4.1 menghasilkan citra sebagai berikut:



Gambar 4 5 Potongan Sample Citra Grayscale

Konversi citra RGB kedalam Grayscale juga dapat diproses atau dijalankan dengan Python dengan rincian script sebagai berikut:

```
* def shape(array):
    rows = len(array)
    cols = len(array[0])
    return [rows, cols]

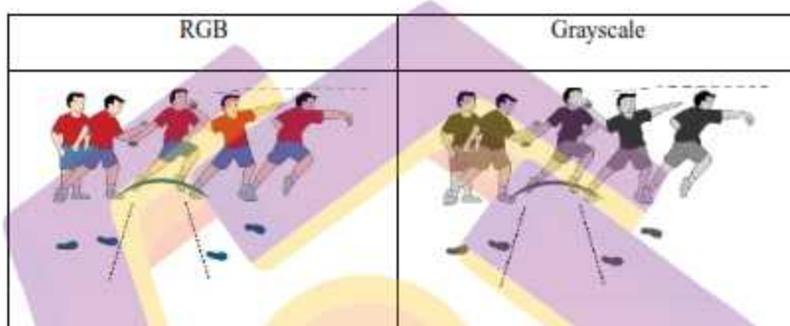
* def zeros(rows, cols):
    return [[0 for col in range(cols)] for row in range(rows)]

* def rgb2gray(array):
    rows, cols = shape(array)
    grayscale = zeros(rows, cols)
    for row in range(rows):
        for col in range(cols):
            red, green, blue = array[row][col]
            gray = int(0.3*red + 0.59*green + 0.11*blue)
            grayscale[row][col] = gray
    return grayscale
```

Gambar 4 6 Script Proses Konversi Grayscale

Pada script yang digunakan penulis diatas, deteksi citra dilakukan dengan mendeteksi vector dari row dan column pada gambar. Selanjutnya pada `rgb2gray` berfungsi dalam merubah citra yang memiliki format RGB kedalam *grayscale* dengan memasukan rumus persamaan 4.1. Sehingga setelah melalui proses perubahan *grayscale* tersebut didapatkan hasil yang disajikan pada tabel 4. 2 :

Tabel 4. 2 Hasil Perubahan citra RGB



2. Penentuan intensitas dan corner

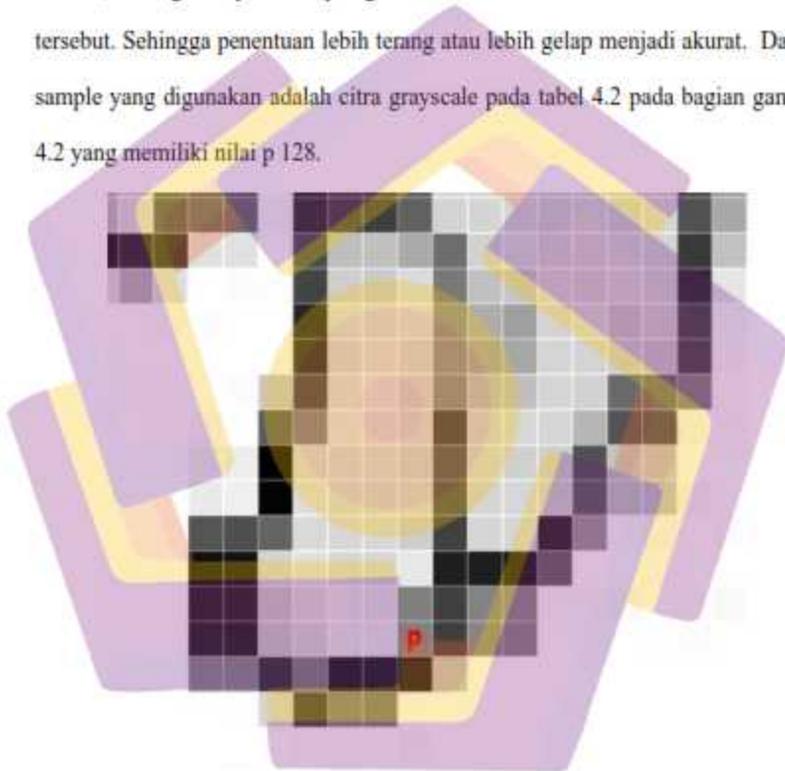
Setelah mendapatkan citra grayscale, algoritma FAST akan memilih piksel p yang diidentifikasi sebagai titik minat dengan intensitas yang diasumsikan I_p dan lingkaran 16 piksel disekitarnya yang diasumsikan sebagai I_x setiap piksel I_x dalam 16 piksel ini memiliki salah satu intensitas dari tiga ketentuan dalam segment test. Ketentuan segment test dapat dilihat dari persamaan 4.2

$$S_p \rightarrow x = \begin{cases} a, & I_x \leq I_p - t & \text{(Lebih Gelap)} \\ s, & I_p - t < I_x < I_p + t & \text{(Serupa)} \\ b, & I_p + t \leq I_x & \text{(Lebih Cerah)} \end{cases}$$

dengan t merupakan nilai ambang batas yang disesuaikan. Dari segment test, piksel p akan ditentukan sebagai sudut jika terdapat sekumpulan piksel yang berdekatan dalam lingkaran 16 piksel yang semuanya lebih terang dari $I_p + t$ atau lebih gelap dari $I_p - t$. Lingkaran tersebut biasa disebut dengan Bresenham Circle. Bresenham

Circle tersebut berfungsi dalam menentukan titik p . Jika p adalah corner, maka setidaknya harus terdapat 3 piksel yang lebih terang atau gelap.

Pada penelitian ini, penentuan intensitas dalam Bresenham Circle menggunakan bantuan dari aplikasi Matlab dan menggunakan fitur `imread` dan `disp`. Syntax `imread` digunakan untuk menggunakan gambar yang digunakan sebagai marker, sedangkan syntax `disp` digunakan untuk melihat nilai matrix dari image tersebut. Sehingga penentuan lebih terang atau lebih gelap menjadi akurat. Dalam sample yang digunakan adalah citra grayscale pada tabel 4.2 pada bagian gambar 4.2 yang memiliki nilai p 128.



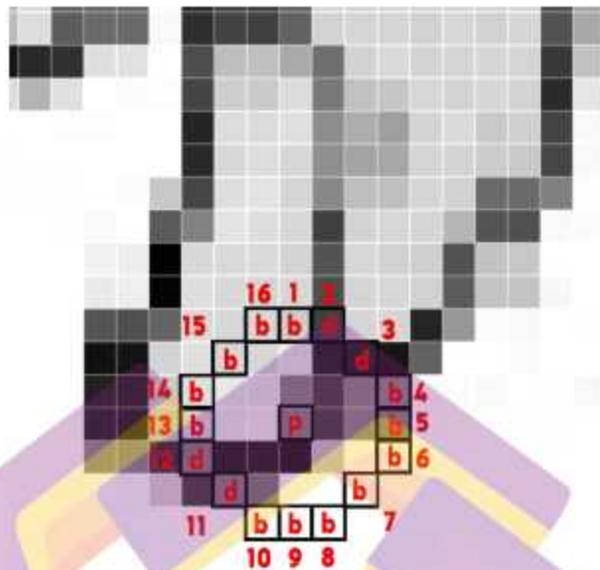
Gambar 4 7 Titik p Sample

Selanjutnya adalah memberikan nilai intensitas dengan menggunakan Bresenham Circle. Nilai intensitas disajikan dari nomor 1 hingga 16 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3 Nilai Intensitas

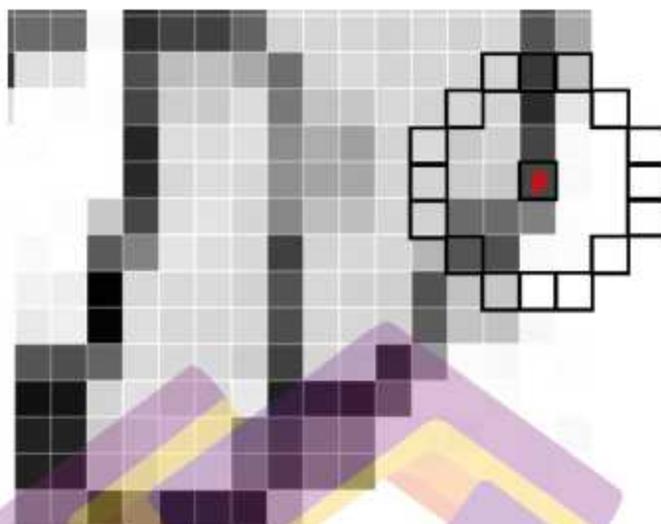
No	Nilai	No	Nilai	No	Nilai	No	Nilai
1	206	5	133	9	249	13	217
2	66	6	255	10	255	14	222
3	30	7	255	11	125	15	214
4	137	8	255	12	125	16	216

Dari tabel 4.3, didapatkan hasil bahwa pada sample tersebut memiliki 4 piksel yang memiliki nilai lebih rendah dari nilai p dan memiliki 12 nilai yang lebih tinggi dari p . Dari Nilai yang lebih kecil dari p akan dimasukkan kedalam kategori lebih gelap dan nilai yang lebih besar dari p akan dimasukkan ke kategori lebih terang, sehingga hasil dari penentuan corner dalam citra yang digunakan sebagai sample dapat dilihat seperti pada gambar 4.3



Gambar 4.8 Penentuan Corner

Pada penentuan corner di gambar 4.3 didapatkan hasil bahwa titik tersebut merupakan corner karena terdapat 3 titik yang intensitasnya lebih rendah dari titik p dan 3 titik yang intensitasnya lebih tinggi dari titik p, dan hasilnya dapat disaksikan pada gambar 4.8. Selanjutnya peneliti mencari sample titik corner lainnya dan ditampilkan pada gambar 4.4



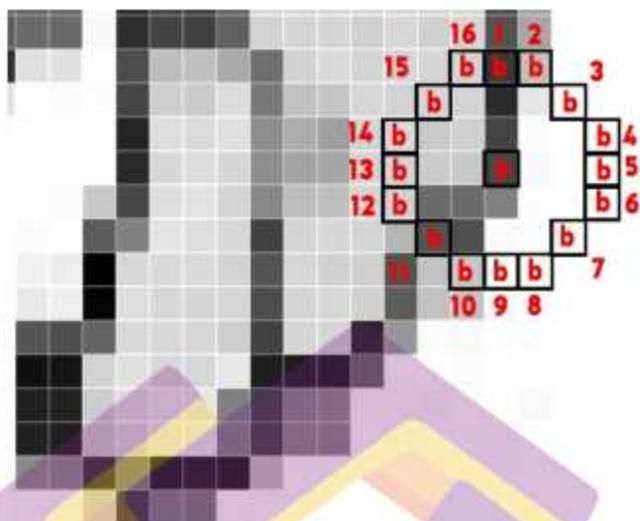
Gambar 4.9 Contoh Penentuan Corner 2

Pada contoh ke 2, nilai p yang didapatkan adalah 43 dan pada nilai intensitas pada Bresenham Circle dari 1 hingga 16 akan disajikan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai intensitas 2

No	Nilai	No	Nilai	No	Nilai	No	Nilai
1	79	5	255	9	127	13	210
2	164	6	255	10	107	14	212
3	253	7	255	11	204	15	209
4	254	8	253	12	218	16	214

Dari tabel nilai intensitas 2 tersebut, nilai p di bandingkan dengan seluruh nilai dan hasil yang didapatkan seperti terlihat pada gambar 4.5



Gambar 4 10 Penentuan Corner 2

Dalam penentuan corner yang ke 2 hasil yang dilakukan, titik p tidak memenuhi syarat sebagai corner dikarenakan nilai intensitas dari 16 piksel tersebut memiliki nilai yang lebih tinggi dari titik p.

Untuk scripting yang menggunakan python dalam menentukan 16 titik lingkaran tersebut adalah sebagai berikut :

```

def circle(row, col):
    point1 = (row+1, col)
    point3 = (row+1, col-1)
    point5 = (row+1, col+3)
    point7 = (row-1, col+3)
    point9 = (row-3, col)
    point11 = (row-3, col-1)
    point13 = (row+1, col-3)
    point15 = (row-1, col-1)
    return [point1, point3, point5, point7, point9, point11, point13, point15];

```

Gambar 4 11 Script penentuan 16 titik Bresenham

Dalam proses nya tiap row dan coloumn dipindai per-pikselnya. Selanjutnya di bandingkan tingkat kecerahan pada masing-masing array. Lalu piksel yang akan digunakan sebagai titik p akan dikelompokan menjadi 3 subset yaitu gelap (P_d), serupa (P_s), dan terang (P_b). Kemudian dari variabel Boolean K_p ditentukan akan bernilai true jika p adalah corner dan yang bernilai false jika p bukanlah sebuah corner.

Selanjutnya base script yang sudah ada dilakukan pengujian terhadap konversi dari RGB kedalam Grayscale. Script yang digunakan dalam evaluasi konversi RGB kedalam Grayscale adalah sebagai berikut :

```

from fea import *
from matplotlib import pyplot as plt
import cv2
import numpy as np
def testgray():
    image = cv2.imread('D:\Magister\Thesis\testing\ca.png')
    image = rgb2gray(image)
    print(image[0][0])
    implot = plt.imshow(image, cmap='gray')
    plt.show()

```

Gambar 4 12 Script Test Konversi RGB to Grayscale

Penentuan titik corner yang dihasilkan mengalami perbedaan ketika penulis menggunakan script yang dijalankan pada *python* dan *vuforia*. Untuk script yang digunakan dalam testing corner pada *python* adalah sebagai berikut

```

1 from sys import *
2 from matplotlib import pyplot as plt
3 import cv2
4 import numpy as np
5 * def test():
6     image = cv2.imread('D:\Register\Thesis\testing100.png')
7     imggray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
8     imggray = cv2.medianBlur(imggray, 7)
9     corners = detect(image)
10    fig = plt.imshow(imggray, cmap='gray')
11    for point in corners:
12        plt.scatter(point[0], point[1], s=0)
13    plt.show()
14

```

Gambar 4.13 Script Testing FAST Corner Python

Pada line pertama penulis melakukan all script import yang digunakan dalam melakukan perhitungan Bresenham Circle, perubahan RGB kedalam Grayscale, dan median blur. Library yang digunakan dalam testing FAST Corner Detection dengan *python* adalah *matplotlib*, *openCV*, dan *numpy*. Langkah selanjutnya image yang akan di proses dilakukan proses pembacaan citra dengan menggunakan *open CV*. Untuk syntax yang digunakan dalam *openCV* adalah *imread*. Setelah citra tersebut dimasukkan, langkah berikutnya adalah dengan melakukan konversi dari citra RGB kedalam grayscale. Selanjutnya pemberian titik corner menggunakan library *matplotlib* dengan menggunakan fitur *pyplot*. Dengan menggunakan *pyplot* corner per piksel dapat diberikan tanda dan ditampilkan.

Output yang dihasilkan oleh *python* belum menggunakan eliminasi corner yang berdekatan sehingga titik corner yang didapatkan lebih banyak dibandingkan dengan *corner* yang proses dengan menggunakan *vuforia*. Untuk hasil perbandingan *Interest Point* yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.3 :

Tabel 4. 3 Perbandingan Penentuan Interest Point

Vuforia	Python
	

4.2.2 Marker Augmented Reality

Marker yang akan diuji merupakan input dari proses deteksi FAST Corner. Citra yang digunakan dimasukkan kedalam database vuforia untuk dinilai star rating nya. Penilaian Star Rating berdasarkan dinilai dengan detail dari citra tersebut, memiliki contrast yang baik (citra yang memiliki bagian cerah dan gelap dengan jelas), tidak memiliki pattern yang berulang, dan memiliki format 8 atau 24 bit citra non grayscale. Citra yang sudah di input kedalam Vuforia memiliki nilai 0 hingga 5. Nilai 0 hingga 3 merupakan citra yang tidak dapat bekerja dengan baik jika digunakan sebagai marker dalam Augmented Reality. Citra dengan rating atau skor 4 dan 5 merupakan citra yang sudah Augmentedable dan bisa digunakan sebagai marker. Kriteria star rating pada marker yang akan dijadikan sebagai penanda ditunjukkan pada Tabel 4.2 yang berisi tentang gambar 2 dimensi pada buku Peralatan Olahraga Anak.

Tabel 4. 4 Marker

Marker	Marker Interest Point	Hasil yang Diharapkan	Nilai Star Rating
		Berhasil menampilkan karakter	4
		Berhasil menampilkan karakter	4
		Berhasil menampilkan karakter	5

Proses pendeteksian titik sudut yang dilakukan oleh Algoritma Fast Corner menampilkan nilai star rating yang sesuai dengan batasan masalah (diatas 4).

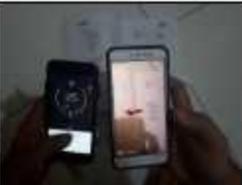
4.2.3 Evaluasi Intensitas Cahaya

Hasil pada tabel dibawah digunakan untuk mendapatkan nilai minimal dan maksimal intensitas cahaya yang akan digunakan pada standar kriteria evaluasi. Penulis menggunakan lux meter untuk menentukan jumlah intensitas cahaya.

Tabel 4. 5 Intensitas Cahaya

Intensitas Cahaya		Hasil Evaluasi	
Kondisi Ruang	Light Meter (Lux)	Gambar	Keterangan
Luar Ruang	200-1000 lux		Marker dapat terdeteksi dengan baik pada kondisi cahaya 200-1000 lux.

Tabel 4.5 (Lanjutan)

Dalam Ruang	20-200 lux		Ketika cahaya berada dalam kondisi 25 lux, marker kurang dapat terdeteksi dengan baik.
-------------	------------	---	--

4.2.4 Evaluasi Marker Augmented Processing

Dilakukan tahap evaluasi augmented processing dengan mengevaluasi jarak kamera terhadap marker, sudut kamera terhadap marker, dan pengaruh cahaya terhadap marker. Untuk kriteria evaluasi deteksi marker adalah sebagai berikut :

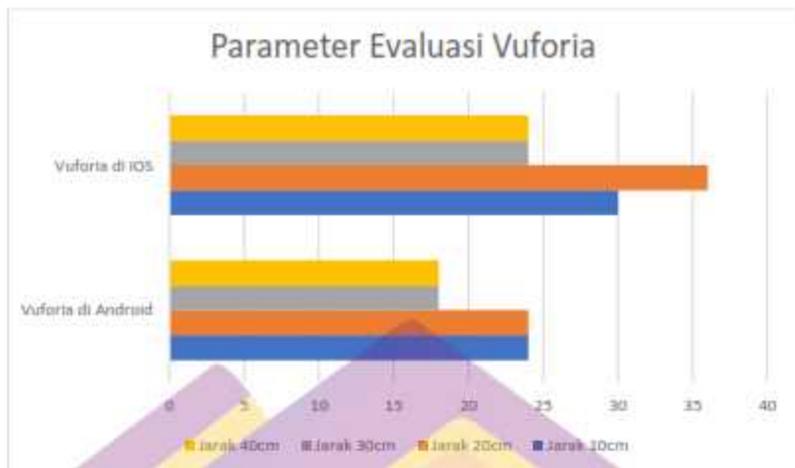
- a. Ukuran marker : 5x5cm
- b. Jumlah marker: 3 sample
- c. Lokasi dalam ruangan : kamar dengan ukuran 3.5 x 4m² dan cahaya jendela 1 buah berukuran 0,4m x 1.5m menghadap ke utara.
- d. Pencahayaan :
 1. Luar ruangan, intensitas cahaya bernilai 200 – 1000 lux
 2. Dalam ruangan, intensitas cahaya bernilai 20- 200 lux
- e. Jarak deteksi marker dengan kamera : 10cm, 20cm, 30 cm dan 40cm
- f. Posisi kamera dengan sudut kemiringan 30°, 60°, dan 90° terhadap marker.

Dari hasil evaluasi ketika menggunakan perangkat Redmi Note 5A yang menggunakan sistem operasi Android mendapatkan hasil sebagai berikut :

Evaluasi pertama yang dilakukan pada perangkat Redmi 5A dalam memproses Algoritma Fast Corner Detection didapatkan hasil bahwa perangkat dapat mendeteksi marker dan melakukan proses proyeksi objek kedalam 3 dimensi pada keseluruhan aspek (jarak, sudut, intensitas cahaya). Evaluasi kedua yang

dilakukan pada perangkat Samsung A5 2017 dengan menggunakan dalam memproses Algoritma Fast Corner Detection didapatkan hasil bahwa perangkat hanya dapat mendeteksi marker dan melakukan proses proyeksi objek kedalam 3 dimensi pada jarak 10cm dan 20cm (sudut 90°) dengan waktu proses kurang dari 1 detik sesuai dengan standar pengujian. Evaluasi ketiga yang dilakukan pada perangkat iPhone 6 dalam memproses Algoritma Fast Corner Detection didapatkan hasil bahwa perangkat hanya dapat mendeteksi marker dan melakukan proses proyeksi objek kedalam 3 dimensi pada jarak 10 cm dan 20 cm ketika berada di dalam ruangan. Berbeda dengan kondisi diluar ruangan, perangkat dapat mendeteksi keseluruhan aspek (jarak, sudut, intensitas cahaya) dengan waktu proses kurang dari 1 detik sesuai dengan standar pengujian. Evaluasi keempat yang dilakukan pada perangkat iPhone 7+ dalam memproses Algoritma Fast Corner Detection didapatkan hasil bahwa perangkat hanya dapat mendeteksi marker dan melakukan proses proyeksi objek kedalam 3 dimensi pada jarak 10 cm, 30cm, dan 40cm (sudut 60 dan 90) ketika berada di dalam ruangan. Berbeda dengan kondisi diluar ruangan, hanya pada jarak 10cm (sudut 30 derajat) perangkat tidak dapat mendeteksi marker dan melakukan proses proyeksi objek kedalam 3 dimensi. Pada jarak 20cm perangkat dapat mendeteksi keseluruhan aspek (jarak, sudut, intensitas cahaya).

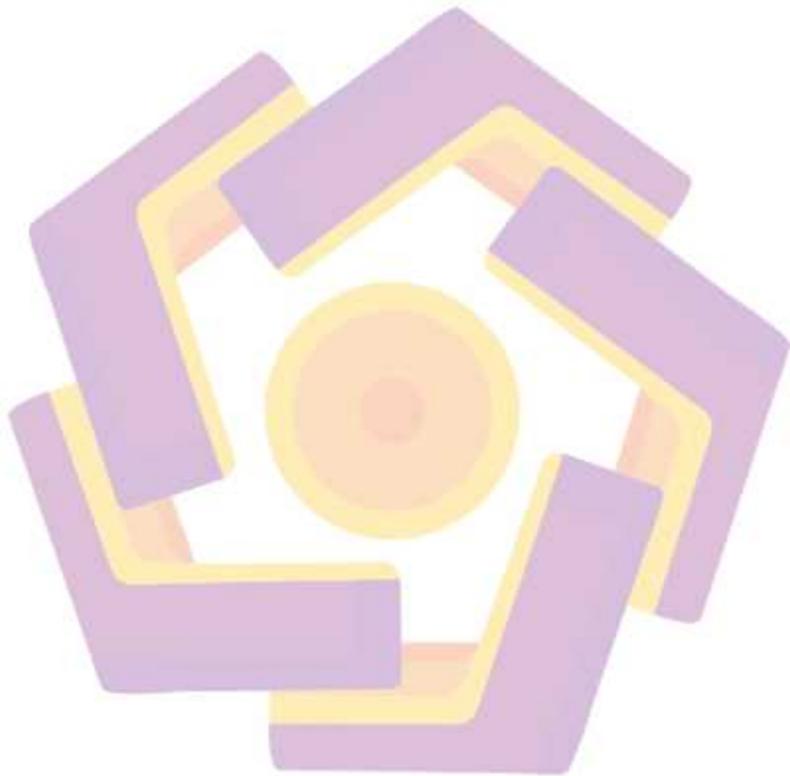
Hasil evaluasi yang dilakukan sebagai berikut dengan kondisi marker yang dapat terdeteksi dengan kriteria yang sudah diterapkan (jarak, sudut, dan intensitas cahaya). Tiap deteksi yang berhasil dilakukan bernilai 1 dan deteksi marker gagal bernilai 0, nilai minimal dari evaluasi adalah 0 dan nilai maksimal dari evaluasi adalah 36. Nilai maksimal didapatkan dari total keseluruhan evaluasi pada jarak, sudut, dan intensitas cahaya yang digunakan.



Gambar 4.14 Chart Deteksi Marker

Pada Gambar 4.12 diatas, chart menunjukkan evaluasi Vuforia pada 2 platform dan 4 jarak berbeda. Pertama, evaluasi Vuforia dilakukan dengan jarak 10 cm pada platform Android diperoleh hasil bahwa performa Vuforia dapat memenuhi 24 dari 36 parameter yang ada. Kemudian Vuforia pada platform iOS memperoleh hasil bahwa performa Vuforia dapat memenuhi 30 dari 36 parameter. Kedua, evaluasi Vuforia dilakukan dengan jarak 20 cm pada platform Android diperoleh hasil bahwa performa Vuforia dapat memenuhi 24 dari 36 parameter. Selanjutnya Vuforia pada platform iOS memperoleh hasil bahwa performa Vuforia dapat memenuhi 36 parameternya secara lengkap. Ketiga, evaluasi Vuforia dengan jarak 30 cm pada platform Android diperoleh hasil bahwa performa Vuforia hanya dapat memenuhi setengah dari total parameter yang ada atau 18 dari 36 parameter evaluasi. Namun Vuforia pada platform iOS memperoleh hasil bahwa performa Vuforia dapat memenuhi 24 dari 36 parameter. Keempat, evaluasi terakhir Vuforia dengan jarak 40 cm pada platform Android diperoleh hasil bahwa performa Vuforia hanya dapat memenuhi setengah dari total parameter yang ada atau 18 dari 36

parameter evaluasi dan Vuforia pada platform iOS memperoleh hasil bahwa performa Vuforia dapat memenuhi 24 dari 36 parameter evaluasi yang ada.



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dalam penelitian yang telah dilakukan diatas, hasil dari deteksi Interest Point pada Vuforia dan python dengan bantuan openCV dan matplotlib penulis mendapatkan hasil bahwa jumlah interest point yang di dapatkan pada Python lebih banyak dibandingkan dengan vuforia. Pada perhitungan dengan Matlab nilai Grayscale yang didapatkan memiliki value yang sama dengan hasil output dari python dan vuforia. Pada penentuan interest point, titik sample yang digunakan sesuai dengan output pada vuforia dan python. Selanjutnya, peneliti melakukan evaluasi terhadap algoritma FAST Corner Detection yang berperan sebagai pendeteksi marker dalam pelacakan interest point. Evaluasi dilakukan dengan tahap aplikatif untuk mendapatkan hasil akhir evaluasi bahwa FAST Corner Detection dapat mengenali dan memproyeksikan marker dari citra 2D secara akurat. Keakuratan tersebut tidak lepas dari peranan parameter-parameter pendukung lain.

Parameter pendukung yang digunakan selama proses evaluasi dapat mempengaruhi pula proses kemunculan proyeksi objek 3D, hal ini disebabkan karena :

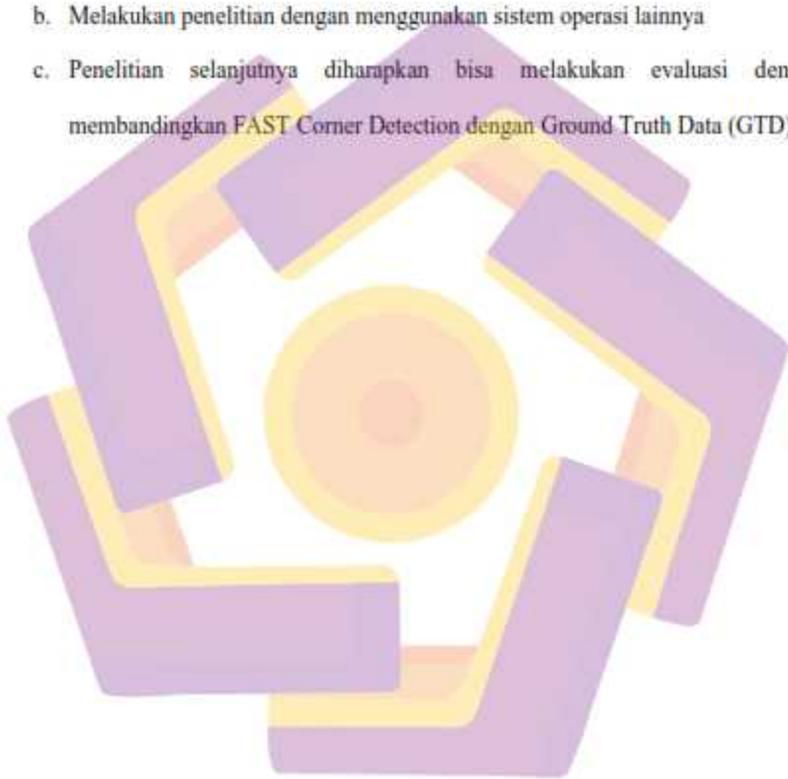
- a. Konversi gambar marker non grayscale yang diubah menjadi grayscale membuat proses perhitungan marker dalam algoritma yang berjalan lebih akurat sesuai dengan tujuan penelitian.
- b. Kombinasi antara intensitas cahaya, jarak pembacaan marker, sudut penempatan yang berbeda dan juga perangkat yang digunakan dapat mempengaruhi proses pembacaan marker.

- c. Algoritma Fast Corner Detection dapat bekerja pada Augmented Reality di kedua sistem operasi yang berbeda

5.2 Saran

Untuk penelitian kedepannya penulis memiliki beberapa saran terkait penelitian terhadap FAST Corner, diantaranya sebagai berikut :

- b. Melakukan penelitian dengan menggunakan sistem operasi lainnya
- c. Penelitian selanjutnya diharapkan bisa melakukan evaluasi dengan membandingkan FAST Corner Detection dengan Ground Truth Data (GTD).



DAFTAR PUSTAKA

PUSTAKA BUKU

Varnum, K.J., 2019. *Beyond reality: Augmented, virtual, and mixed reality in the library*. American Library Association.

Furth, B, 2011, *Handbook of Augmented Reality*, Springer, Florida

PUSTAKA MAJALAH, JURNAL ILMIAH ATAU PROSDING

Kaplan, A. D., Cruit, J., Beers, S. M., Sawyer, B. D., Hancock, P. A., 2020, *The Effects of Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality as Training Enhancement Methods: A Meta- Analysis*, Human Factors and Ergonomics Society.

Firmansyah, J., Suhandi, A., Setiawan, A., Permanasari, A., 2020, *Development of augmented reality in the basic physics practicum module*, Journal of Physics: Conference Series.

Devita, M. Z., Andryana, S., Hidayatullah, D., 2020, *Augmented Reality Pengenalan Huruf dan Angka Arab Menggunakan Metode Marker Based Tracking Berbasis Android*, Jurnal Media Informatika Budidarma.

Romli, R., Razali, A. F., Ghazali, N. H., Hanin, N. A., Ibrahim, S. Z., 2020, *Mobile Augmented Reality (AR) Marker-based for Indoor Library Navigation*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

Moaresa, R., Jadhav, V., Bagul, R., RejiJacob, Rajgurue, S., Kalantri, R., 2019, *Inter AR: Interior Decor App using Augmented Reality Technology*,

SSRN Electronic Journal.

Syahputra, A., Andryana, S., Gunaryati, A., 2020, Aplikasi Augmented Reality (AR) dengan Metode Marker Based sebagai Media Pengenalan Hewan Darat pada Anak Usia Dini menggunakan Algoritma Fast Corner Detection (FCD), Jurnal JTIK.

Karim, A. A., Nasser, E. F., 2017, Improvement of Corner Detection Algorithms (Harris, FAST and SUSAN) Based on Reduction of Features Space and Complexity Time, Engineering and Technology Journal.

Belghit, H., Bellarbi, A., Zenati, N., Otmame, S., 2018, Vision-based Pose Estimation for Augmented Reality : A Comparison Study, arXiv.

Fitriana, E. A., Setyaningrum, A. H., Arini., 2019, Pengembangan Aplikasi Katalog Rumah Berbasis Augmented Reality Menggunakan Algoritma FAST, JISKa, No.1, Vol.4, Hal. 9-21.

Syaripudin U, et al, 2021, Fast Corner Detection in Augmented Reality Learning Management of the Corpse, Informatica 45

Soltani, P., Morice, A. H. P., 2020, Augmented reality tools for sports education and training, Elsevier Ltd.

Voronina, M. V., Tretyakova, Z. O., Krivonozhkina, E. G., Buslaev, S. I., Sidorenko, G. G., 2019, Augmented Reality in Teaching Descriptive Geometry, Engineering and Computer Graphics – Systematic Review and Results of the Russian Teachers' Experience, EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education.

Lumintuarso R, 2014, Peralatan Olahraga Anak Untuk Pengembangan Multilateral, UNY Press.

Rofiudin M, Wijaya N, Ordiyasa.I.W., 2021, The Design Of Augmented

Reality Media Koi Fish Literacy Using Fast Corner Algorithm, International Journal of Informatics and Computation (IJICOM).

Raharjo W.K., Julinas, Avileti C.D., 2016, Analisis Pengaruh Penggunaan Marker Terhadap Kemunculan Objek pada Aplikasi Augmented Reality, Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia 2016

Kraft M., Schmidt A., Kasiński A., 2008, High speed Image Feature Detection Using FPGA Implementation of FAST Algorithm, VISAPP - International Conference on Computer Vision Theory and Applications

F. Zuli., 2018, Rancang Bangun Augmented Dan Virtual Reality Menggunakan Algoritma Fast Sebagai Media Informasi 3D Di Universitas Satya Negara Indonesia, J. Algoritm. Log. dan Komputasi, vol. 1, no. 2, pp. 94–104.

Ibañez A.S., 2013, Vuforia v1.5 SDK: Analysis and evaluation of capabilities, UP de Catalunya

Köse, H., 2020, Augmented reality (AR) as a learning material in special needs education. Education and Information Technologies, Springer.

Osa E.a, Orukpe P.E.b., 2021, Simulation of an Underwater Environment via Unity 3D Software, NIPES Conference Proceedings The 1st International Conference of the Nigerian Institution of Professional Engineers and Scientists

LAMPIRAN

Tabel pengujian pada redmi note 5A

Jarak	Sudut	Marka	Cahaya Dalam Ruangan		Hasil Waktu (selain detik)	Cahaya Luar Ruangan		Hasil Waktu (selain detik)
			Berkemangan			Berkemangan		
			Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi		
10cm	30°	1	✓		02s	✓		<2 s
		2	✓		02s	✓		<2 s
		3	✓		02s	✓		<2 s
	60°	1	✓		02s	✓		<2 s
		2	✓		02s	✓		<2 s
		3	✓		02s	✓		<2 s
	90°	1	✓		02s	✓		<2 s
		2	✓		02s	✓		<2 s
		3	✓		02s	✓		<2 s
20cm	30°	1	✓		<2 s	✓		<2 s
		2	✓		<2 s	✓		<2 s
		3	✓		<2 s	✓		<2 s
	60°	1	✓		<2 s	✓		<2 s
		2	✓		<2 s	✓		<2 s
		3	✓		<2 s	✓		<2 s
	90°	1	✓		<2 s	✓		<2 s
		2	✓		<2 s	✓		<2 s
		3	✓		<2 s	✓		<2 s
30cm	30°	1	✓		<2 s	✓		<2 s
		2	✓		<2 s	✓		<2 s
		3	✓		<2 s	✓		<2 s
	60°	1	✓		<2 s	✓		<2 s
		2	✓		<2 s	✓		<2 s
		3	✓		<2 s	✓		<2 s
	90°	1	✓		<2 s	✓		<2 s
		2	✓		<2 s	✓		<2 s
		3	✓		<2 s	✓		<2 s
40cm	30°	1	✓		02s	✓		<2 s
		2	✓		02s	✓		<2 s
		3	✓		02s	✓		<2 s
	60°	1	✓		02s	✓		<2 s
		2	✓		02s	✓		<2 s
		3	✓		02s	✓		<2 s
	90°	1	✓		02s	✓		<2 s
		2	✓		02s	✓		<2 s
		3	✓		02s	✓		<2 s

Hasil pengujian pada Samsung Galaxy A5 2017

Jarak	Sudut	Marker	Cahaya Dalam Ruangan		Hasil Waktu (satu detik)	Cahaya Luar Ruangan		Hasil Waktu (satu detik)
			Keterangan			Keterangan		
			Terdeteksi	Tidak Terdeteksi		Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	
10 cm	30°	1		*	-		*	-
		2		*	-		*	-
		3		*	-		*	-
	60°	1		*	-		*	-
		2		*	-		*	-
		3		*	-		*	-
	90°	1	√		<1 s	√		<1 s
		2	√		<1 s	√		<1 s
		3	√		<1 s	√		<1 s
20 cm	30°	1		*	-		*	-
		2		*	-		*	-
		3		*	-		*	-
	60°	1		*	-		*	-
		2		*	-		*	-
		3		*	-		*	-
	90°	1	√		<1 s	√		<1 s
		2	√		<1 s	√		<1 s
		3	√		<1 s	√		<1 s
30 cm	30°	1		*	-		*	-
		2		*	-		*	-
		3		*	-		*	-
	60°	1		*	-		*	-
		2		*	-		*	-
		3		*	-		*	-
	90°	1		*	-		*	-
		2		*	-		*	-
		3		*	-		*	-
40 cm	30°	1		*	-		*	-
		2		*	-		*	-
		3		*	-		*	-
	60°	1		*	-		*	-
		2		*	-		*	-
		3		*	-		*	-
	90°	1		*	-		*	-
		2		*	-		*	-
		3		*	-		*	-

Hasil Evaluasi iPhone 6

Jarak	Sudut	Merkur	Cahaya Dalam Ruangan		Hasil Waktu (dalam detik)	Cahaya Luar Ruangan		Hasil Waktu (dalam detik)
			Kebenerangan			Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	
			Terdeteksi	Tidak Terdeteksi				
10 cm	30°	1	√		<1 s	√		<1 s
		2	√		<1 s	√		<1 s
		3	√		<1 s	√		<1 s
	60°	1	√		<1 s	√		<1 s
		2	√		<1 s	√		<1 s
		3	√		<1 s	√		<1 s
	90°	1	√		<1 s	√		<1 s
		2	√		<1 s	√		<1 s
		3	√		<1 s	√		<1 s
20 cm	30°	1	√		<1 s	√		<1 s
		2	√		<1 s	√		<1 s
		3	√		<1 s	√		<1 s
	60°	1	√		<1 s	√		<1 s
		2	√		<1 s	√		<1 s
		3	√		<1 s	√		<1 s
	90°	1	√		<1 s	√		<1 s
		2	√		<1 s	√		<1 s
		3	√		<1 s	√		<1 s
30 cm	30°	1		x	-	√		<1 s
		2		x	-	√		<1 s
		3		x	-	√		<1 s
	60°	1		x	-	√		<1 s
		2		x	-	√		<1 s
		3		x	-	√		<1 s
	90°	1		x	-	√		<1 s
		2		x	-	√		<1 s
		3		x	-	√		<1 s
40 cm	30°	1		x	-	√		<1 s
		2		x	-	√		<1 s
		3		x	-	√		<1 s
	60°	1		x	-	√		<1 s
		2		x	-	√		<1 s
		3		x	-	√		<1 s
	90°	1		x	-	√		<1 s
		2		x	-	√		<1 s
		3		x	-	√		<1 s

Hasil Evaluasi iPhone 7+

Jarak	Sudut	Marker	Cahaya Dalam Ruangan		Hasil Waktu (satuan detik)	Cahaya Luar Ruangan		Hasil Waktu (satuan detik)
			Keterangan			Keterangan		
			Terdeteksi	Tidak Terdeteksi		Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	
10 cm	30°	1		*	-		*	-
		2		*	-		*	-
		3		*	-		*	-
	60°	1	√		<1 s	√		<1 s
		2	√		<1 s	√		<1 s
		3	√		<1 s	√		<1 s
	90°	1	√		<1 s	√		<1 s
		2	√		<1 s	√		<1 s
		3	√		<1 s	√		<1 s
20 cm	30°	1	√		<1 s	√		<1 s
		2	√		<1 s	√		<1 s
		3	√		<1 s	√		<1 s
	60°	1	√		<1 s	√		<1 s
		2	√		<1 s	√		<1 s
		3	√		<1 s	√		<1 s
	90°	1	√		<1 s	√		<1 s
		2	√		<1 s	√		<1 s
		3	√		<1 s	√		<1 s
30 cm	30°	1		*	-		*	<1 s
		2		*	-		*	<1 s
		3		*	-		*	<1 s
	60°	1	√		≤1 s	√		<1 s
		2	√		≤1 s	√		<1 s
		3	√		≤1 s	√		<1 s
	90°	1	√		≤1 s	√		<1 s
		2	√		≤1 s	√		<1 s
		3	√		≤1 s	√		<1 s
40 cm	30°	1		*	-		*	<1 s
		2		*	-		*	<1 s
		3		*	-		*	<1 s
	60°	1	√		-	√		<1 s
		2	√		-	√		<1 s
		3	√		-	√		<1 s
	90°	1	√		-	√		<1 s
		2	√		-	√		<1 s
		3	√		-	√		<1 s