



TESIS - ES235401

PENGEMBANGAN SISTEM PELATIHAN PELEMPARAN GRANAT BERBASIS *VIRTUAL REALITY*

Raynaldi Anggiat Samuel Siahaan

NRP 6026241010

Dosen Pembimbing

Dr.Eng. Febriliyan Samopa, S.Kom., M.Kom.

NIP 197302191998021001

PROGRAM STUDI MAGISTER SISTEM INFORMASI

DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI

FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO DAN INFORMATIKA CERDAS

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2025



TESIS - ES235401

PENGEMBANGAN SISTEM PELATIHAN PELEMPARAN GRANAT BERBASIS *VIRTUAL REALITY*

Raynaldi Anggiat Samuel Siahaan

NRP 6026241010

Dosen Pembimbing

Dr.Eng. Febriliyan Samopa, S.Kom., M.Kom.

NIP 197302191998021001

PROGRAM STUDI MAGISTER SISTEM INFORMASI

DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI

FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO DAN INFORMATIKA CERDAS

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2025



THESIS - ES235401

DEVELOPMENT OF *VIRTUAL REALITY*-BASED GRENADE THROWING TRAINING SYSTEM

Raynaldi Anggiat Samuel Siahaan

NRP 6026241010

Advisor

Dr.Eng. Febriliyan Samopa, S.Kom., M.Kom.

NIP 197302191998021001

MASTER OF INFORMATION SYSTEM PROGRAM

DEPARTMENT OF INFORMATION SYSTEM

FACULTY OF INTELLIGENT ELECTRICAL AND INFORMATICS TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2025

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Raynaldi Anggiat Samuel Siahaan / 6026241010

Program studi : S2 Sistem Informasi

Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Eng. Febriliyan Samopa, S.Kom, M.Kom / 197302191998021001

dengan ini menyatakan bahwa Tesis dengan judul "PENGEMBANGAN SISTEM PELATIHAN PELEMPARAN GRANAT BERBASIS VIRTUAL REALITY" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 25 Juli 2025

Mengetahui

Dosen Pembimbing

Dr. Eng. Febriliyan Samopa, S.Kom,
M.Kom
NIP. 197302191998021001

Mahasiswa



7

Raynaldi Anggiat Samuel Siahaan
NRP. 6026241010

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sistem Informasi (M.Kom.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
Raynaldi Anggiat Samuel Siahaan
NRP: 6026241010

Tanggal Ujian: 23 Juli 2025
Periode Wisuda ITS: 132

Disetujui oleh:
Pembimbing:

Dr. Eng. Febriliyan Samopa, S.Kom, M.Kom
NIP: 197302191998021001

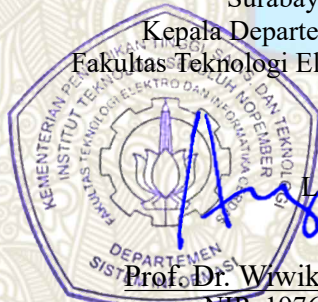
Penguji:

Izzat Aulia Akbar, S.Kom., M.Eng., Ph.D
NIP: 1991202011006

Dr. Bambang Setiawan, S.Kom., M.T
NIP: 196911152005011003

Surabaya, 28 Juli 2025

Kepala Departemen Sistem Informasi
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas



LP/P/25/301

Prof. Dr. Wiwik Anggraeni, S.Si, M.Kom
NIP: 197601232001122002

ABSTRAK

PENGEMBANGAN SISTEM PELATIHAN PELEMPARAN GRANAT BERBASIS *VIRTUAL REALITY*

Nama Mahasiswa / NRP : Raynaldi Anggiat Samuel Siahaan / 6026241010
Departemen : Sistem Informasi FTEIC - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Febriliyan Samopa, S. Kom., M. Kom.

Abstrak

Latihan lempar granat merupakan salah satu latihan militer TNI yang sangat berpotensi untuk terjadi kecelakaan, membutuhkan biaya besar, dan memerlukan lahan luas. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pelatihan pelemparan granat berbasis *Virtual Reality* menggunakan *Depth Camera*, aplikasi simulasi di Unity, dan model granat cetakan 3D. Sistem ini membentuk lingkungan Semi-Immersive *Virtual Reality* dengan area latihan hanya 3×3×4 meter, jauh lebih efisien dibandingkan area latihan konvensional yang memerlukan radius minimal 100 meter. Uji fungsionalitas dilakukan untuk memastikan setiap fitur berjalan sesuai skenario seperti perpindahan area latihan, perubahan parameter latihan, kamera dapat mendeteksi granat, granat berhasil disimulasikan, dan granat dapat meledak setelah 4 detik. Semua skenario uji fungsional menunjukkan hasil sesuai output yang diharapkan sehingga dinyatakan berhasil. Pengujian non-fungsional fokus pada aspek *usability* dan *performance*. Pengguna merasakan proses pelemparan granat cukup mudah dilakukan dalam simulasi, tetapi masih mengalami sedikit kesulitan dan membutuhkan operator untuk menjalankan aplikasi. Terlebih, area latihan dinilai terlalu terbatas untuk lempar granat yang membutuhkan ancang-ancang yang luas. Dari aspek kinerja, pengujian pada laptop dengan GPU RTX 3050m menunjukkan simulasi dapat berjalan stabil pada 60 FPS, menandakan kinerja sudah mendukung kebutuhan *real-time*. Meskipun demikian, prototipe ini memiliki keterbatasan pada daya tahan fisik area latihan yang masih ringkih, serta akurasi yang terkadang tidak tepat dikarenakan kekurangan data pada kamera.

Kata kunci: Granat, Latihan Militer, *Virtual Reality*, *Depth Camera*

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF VIRTUAL REALITY-BASED GRENADE THROWING TRAINING SYSTEM

Student Name / NRP : Raynaldi Anggiat Samuel Siahaan / 6026241010
Department : Information System FTEIC - ITS
Advisor : Dr. Eng. Febriliyan Samopa, S. Kom., M. Kom.

Abstract

The grenade throwing exercise is one of the TNI's military exercises that has the potential for accidents, costs a lot of money, and requires a large area of land. This research aims to develop a Virtual Reality-based grenade throwing training system using Depth Camera, simulation application in Unity, and 3D printed grenade models that can be reused up to 100-200 times. This system forms a Semi-Immersive Virtual Reality environment with a training area of only 3×3×4 meters, much more efficient than conventional training areas that require a minimum radius of 100 meters. Functionality tests were carried out to ensure each feature runs according to scenarios such as moving the training area, changing training parameters, the camera can detect grenades, grenades are successfully simulated, and grenades can explode after 4 seconds. All functional test scenarios show results according to the expected output so that they are declared successful. Non-functional testing focuses on usability and performance aspects. Users found the grenade throwing process quite easy to do in the simulation but still experienced some difficulties and needed an operator to run the application. Moreover, the training area was considered too limited for grenade throwing, which requires a wide stance. In terms of performance, testing on a laptop with an RTX 3050m GPU shows that the simulation can run stably at 60 FPS, indicating that the performance is already supporting real-time needs. Nonetheless, this prototype has limitations in the physical durability of the training area which is still fragile, as well as the accuracy which is sometimes imprecise due to lack of data in the camera.

Keywords: Grenade, Military Exercise, Virtual Reality, Depth Camera

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kepada hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia yang diberikanNya dalam membimbing penulis untuk menyusun tesis dengan judul “PENGEMBANGAN SISTEM PELATIHAN PELEMPARAN GRANAT BERBASIS VIRTUAL REALITY”.

Penelitian ini disusun untuk menyelesaikan Tesis sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Magister Komputer (M.Kom) di Departemen Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tesis ini tidak dapat terwujud tanpa bantuan dari berbagai pihak yang telah meluangkan waktu, ide, serta kehadirannya dalam perjalanan penulis menyusun tesis ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr.Eng. Febriliyan Samopa, S.Kom., M.Kom., selaku dosen pembimbing yang telah memfasilitasi dan membimbing penulis dalam pengerjaan tesis ini sejak awal sarjana hingga selesainya tesis ini.
2. Bapak Izzat Aulia Akbar, S.Kom., M.Kom., Ph.D dan Bapak Dr. Bambang Setiawan, S.Kom., M.T. sebagai dosen penguji yang telah memberikan ide serta masukan untuk menyempurnakan penelitian ini.
3. Bapak Mayor. Inf. Soni Herlaut yang telah bersedia sebagai narahubung penulis kepada TNI dan memfasilitasi penulis selama pengujian alat.
4. Pascasarjana ITS yang memberikan kesempatan pada penulis untuk mendapatkan Beasiswa Fast Track sehingga penulis dapat menyelesaikan program Magister lebih cepat dan didanai
5. Orang tua serta sana saudara yang selalu memberikan dukungan serta doa sejak awal perkuliahan hingga selesainya penelitian ini.
6. Kentaro, Ahmaddian Daffa, Eric, Ista, Fyar, Arvin, Avicenna, serta seluruh teman penulis yang telah meluangkan waktunya untuk membantu penulis merancang alat penelitian. Pembangunan alat tidak dapat dilakukan sendiri dan penulis sangat menghargai bantuan yang diberikan.
7. Seluruh rekan-rekan Lab IKTI yang selalu mendampingi dan memberikan masukan pada penulis selama beraktivitas di Lab IKTI
8. Seluruh anggota “Lapo Tuak”, sahabat penulis yang sejak sarjana terus mendukung penulis
9. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen serta Karyawan Departemen Sistem Informasi yang telah membagikan ilmu serta memfasilitasi penulis baik secara langsung maupun tidak langsung
10. Seluruh Teman dan Rekan yang mendukung penulis secara langsung dan tidak langsung dalam pengerjaan Tesis ini
11. Pihak-pihak lain yang mendukung penulis secara tidak langsung untuk menyelesaikan kuliah serta penelitian ini dengan baik dan lancar yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Sebagai penutup, penulis mengucapkan maaf atas segala kekurangan yang pada penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat di kemudian hari.

Surabaya, Juli 2025

Raynaldi Siahaan

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR KODE SUMBER	viii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	2
1.5.1 Manfaat Teoritis	2
1.5.2 Manfaat Praktis.....	2
1.6 Kontribusi Penelitian	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	4
2.1 Kajian Pustaka	4
2.2 Dasar Teori	5
2.2.1 <i>Virtual Reality</i> (VR)	5
2.2.2 Intel Realsense D435	6
2.2.3 3D Printing	7
2.2.4 Daerah Latihan Lempar Granat	7
2.2.5 Granat Fragmentasi MK2	8
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	9
3.1 Rancangan Sistem	9
3.2 Metode Penelitian.....	9
3.2.1 <i>Identify Problem and Motivation</i>	10
3.2.2 <i>Define Objectives and Solution</i>	11
3.2.3 <i>Design and Development</i>	11
3.2.4 <i>Demonstration and Evaluation</i>	11
3.2.5 <i>Communication</i>	12
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	13

4.1	Lingkungan Uji Coba	13
4.2	Hasil Perancangan dan Pengembangan Sistem	13
4.2.1	Analisis Kebutuhan	13
4.2.2	Desain Area Latihan	15
4.2.3	Desain Model 3D Granat	17
4.2.4	Implementasi Area Latihan dan <i>3D Printing</i>	17
4.2.5	Implementasi Software Sistem Pelatihan	19
4.2.6	<i>Testing</i>	33
4.2.7	Demonstrasi dan Evaluasi	34
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	38
5.1	Kesimpulan.....	38
5.2	Saran	38
	DAFTAR PUSTAKA	39
	LAMPIRAN.....	42
	BIODATA PENULIS	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Permainan Online War Thunder Menggunakan (a) Non-Immersive VR (b) Semi-Immersive VR (c) Immersive VR.....	6
Gambar 2. 2 Komponen Kamera Intel Realsense D435i.....	6
Gambar 2. 3 Hasil Cetakan 3D Pada Berbagai Senjata	7
Gambar 2. 4 Daerah Latihan Lempar Granat.....	8
Gambar 2. 5 Granat Fragmentasi MK2.....	8
Gambar 3. 1 Blok Diagram Sistem Pelatihan	9
Gambar 3. 2 Metode Penelitian	10
Gambar 4. 1 Rancangan Ruangan Latihan	14
Gambar 4. 2 Rancangan Area Latihan Pertama.....	15
Gambar 4. 3 Rancangan Area Latihan Kedua	15
Gambar 4. 4 Rancangan Area Latihan Ketiga	16
Gambar 4. 5 Rancangan Tali Granat.....	17
Gambar 4. 6 Tenda Area Latihan.....	18
Gambar 4. 7 Kaki Tenda yang Melengkung.....	18
Gambar 4. 8 Cetakan Granat yang Diberi Loop	19
Gambar 4. 9 Granat Terikat dengan Tali	19
Gambar 4. 10 Tampilan Antarmuka Awal.....	20
Gambar 4. 11 Tampilan Antarmuka Parameter Latihan Pertama.....	20
Gambar 4. 12 Perubahan Parameter Latihan Pertama	21
Gambar 4. 13 Posisi Bendera Telah Berubah	21
Gambar 4. 14 Tampilan Antarmuka Latihan Kedua.....	21
Gambar 4. 15 Tampilan Antarmuka Parameter Latihan Kedua	22
Gambar 4. 16 Tampilan Antarmuka Parameter Latihan Ketiga	22
Gambar 4. 17 Parit Telah Terbentuk.....	22
Gambar 4. 18 Pelabelan Dataset	23
Gambar 4. 19 Kondisi Area Latihan di Malam Hari	23
Gambar 4. 20 Perbedaan Tangkapan Granat di Siang Hari dan Malam Hari.....	23

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Ringkasan penelitian terdahulu.....	4
Tabel 3. 1 Daftar pertanyaan untuk SUS	11
Tabel 4.1 Kebutuhan Perangkat Keras.....	13
Tabel 4.2 Tabel Kebutuhan Perangkat Lunak.....	13
Tabel 4.3 Kebutuhan Fungsional	14
Tabel 4.4 Tabel Sumber Aset 3D.....	16
Tabel 4.5 Tabel Sumber Model 3D.....	17
Tabel 4. 6 Output Uji Fungsional	33
Tabel 4. 7 Hasil Uji Fungsional	34
Tabel 4. 8 Hasil <i>System Usability Survey</i>	35

DAFTAR KODE SUMBER

Kode Sumber 4. 1 Implementasi ROI.....	24
Kode Sumber 4. 2 Implementasi Objek Terdekat.....	25
Kode Sumber 4. 3 Implementasi Perhitungan Kecepatan	26
Kode Sumber 4. 4 Implementasi Endpoint Coords	26
Kode Sumber 4. 5 Implementasi Endpoint Launch	27
Kode Sumber 4. 6 Implementasi Endpoint Start	27
Kode Sumber 4. 7 Implementasi Endpoint Socket Throwws	28
Kode Sumber 4. 8 Implementasi Penerimaan Data dari API.....	29
Kode Sumber 4. 9 Implementasi Pelemparan Granat	30
Kode Sumber 4. 10 Implementasi Aerodinamika Granat.....	30
Kode Sumber 4. 11 Implementasi Ledakan Granat	32

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tentara Nasional Indonesia (TNI) merupakan nama untuk angkatan bersenjata dari negara Indonesia. Menurut UU RI Nomor 34 Tahun 2004, TNI memiliki 3 divisi yaitu TNI Angkatan Darat (AD), TNI Angkatan Laut (AL), dan TNI Angkatan Udara (AU) yang mengayomi daerah operasinya masing-masing. Pada tahun 2025, TNI akan mendapatkan anggaran sebesar 54 triliun Rupiah untuk AD, 20 triliun Rupiah untuk AL, 18 triliun Rupiah untuk AU, dan 9,3 triliun Rupiah untuk Markas Besar (Mabes) TNI (DPR RI, 2024).

Untuk melatih kemampuan prajurit, maka perlu dilakukan latihan militer secara berkala. Daerah latihan militer adalah wilayah yang dibentuk agar angkatan bersenjata dapat beroperasi secara efektif dan efisien dalam situasi perang maupun keadaan darurat lainnya (Kemhan RI, 2014). Tata ruang daerah latihan militer diatur dalam buku Pedoman Muatan Sektor Pertahanan untuk Perumusan Peraturan Rencana Tata Ruang sebagai salah satu komponen dari Wilayah Pertahanan. Wilayah Pertahanan berukuran minimal 156,25 hektar untuk skala provinsi, 6,25 hektar untuk skala kabupaten, 1,5625 hektar untuk skala kota, dan 625 m² untuk skala khusus (Kementerian Pertahanan Republik Indonesia, 2022).

Latihan militer yang melibatkan penggunaan senjata tentu saja membawa resiko bagi prajurit yang berlatih. Pada tahun 2021, dua orang prajurit TNI terluka saat latihan melempar granat dikarenakan granat yang diduga rusak meledak saat hendak diambil. Pada tahun 2018, dua siswa Sekolah Calon Bintara (Secaba) terkena ledakan granat dikarenakan menggunakan toilet di dekat daerah latihan pelemparan granat (Setyadi, 2018).

Untuk mengurangi resiko keamanan yang terjadi saat latihan, beberapa perusahaan mengembangkan alat yang menyerupai granat dan mensimulasikan ledakan ke dalam bentuk yang lebih aman. Serious Simulations mengembangkan sebuah granat tiruan yang menyerupai granat fragmentasi M67 milik Amerika Serikat (Simulations, 2024). Granat tiruan ini memiliki komponen yang lengkap dan menampilkan cahaya yang sangat terang untuk mensimulasikan ledakan granat. Zen Technologies juga telah mengembangkan produk yang mirip, dengan perbedaan yang paling mencolok adalah granat tiruan tersebut tetap meledak dan menimbulkan asap namun tidak berbahaya dikarenakan tidak ada fragmen yang tersebar (Technologies, 2024).

Namun, pelatihan tersebut tetap membutuhkan lahan yang luas untuk mencapai hasil latihan yang optimal dan sangat dipengaruhi dengan kondisi lingkungan saat itu. Untuk mengakomodasi terjadinya hal tersebut, teknologi seperti *Virtual Reality* (VR) mulai dikembangkan. VR memungkinkan untuk dilakukannya simulasi dengan berbagai kondisi lingkungan dan pengalaman yang hampir nyata tanpa menimbulkan resiko keamanan yang berarti (Hong et al., 2023). Oleh karena itu, terdapat sebuah penelitian yang mengembangkan sistem pelatihan pelemparan granat dengan memanfaatkan teknologi *Immersive Virtual Reality* (IVR) menggunakan Oculus Quest 2 (Samopa & Siahaan, 2024). Namun, penelitian ini masih diuji kepada orang awam dan belum diuji langsung dengan expert dalam pelemparan granat.

Keselamatan, biaya, serta kualitas latihan merupakan faktor-faktor penting dalam pelatihan pelemparan granat. Produk yang berbasis prototip memberikan nuansa yang mirip dengan memegang senjata yang sebenarnya, tetapi membutuhkan lahan yang lebih luas sebagai area latihan. Terlebih lagi, penggunaan produk tersebut masih belum dilakukan oleh Tentara

Nasional Indonesia (TNI) sehingga saat ini masih belum diketahui efektivitas pelatihan berbasis *Virtual Reality* untuk TNI. Hal ini dapat diatasi dengan membangun sistem pelatihan pelemparan granat berbasis *Virtual Reality*. Oleh karena itu, Tesis ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pelatihan pelemparan granat berbasis *Virtual Reality* yang dapat memberikan kemudahan dalam seluruh faktor dalam pelatihan pelemparan granat yang dapat diuji coba oleh TNI.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ditetapkan, dapat disimpulkan beberapa rumusan masalah.

1. Bagaimana manfaat sistem pelatihan pelemparan granat berbasis *Virtual Reality* bagi TNI?
2. Apa saja tantangan yang dialami oleh TNI dalam menggunakan sistem pelatihan pelemparan granat berbasis *Virtual Reality*?
3. Bagaimana akurasi sistem pelatihan pelemparan granat berbasis *Virtual Reality*?

1.3 Batasan Masalah

Dalam menjaga agar penelitian ini terpercaya dan valid, maka perlu adanya batasan yang berlaku dalam penelitian ini. Beberapa batasan yang ditetapkan sebelum penelitian Tesis ini adalah sebagai berikut:

1. TNI yang dimaksud adalah TNI yang bemarkas di Surabaya
2. Granat dalam penelitian ini merupakan granat fragmentasi MK2

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang ditetapkan, Tesis ini memiliki beberapa tujuan:

1. Mengetahui manfaat sistem pelatihan pelemparan granat berbasis *Virtual Reality* bagi TNI
2. Mengetahui tantangan yang dihadapi TNI dalam menggunakan sistem pelatihan pelemparan granat berbasis *Virtual Reality*
3. Mengetahui akurasi sistem pelatihan pelemparan granat berbasis *Virtual Reality* yang dibangun

1.5 Manfaat

Dari pengerjaan tesis ini, Adapun beberapa manfaat yang dapat diberikan antara lain:

1.5.1 Manfaat Teoritis

- a. Tesis ini dapat berkontribusi pada pemahaman yang lebih mengenai penggunaan *Virtual Reality* dalam lingkup pelatihan pelemparan granat
- b. Tesis ini dapat menjadi basis dalam mempelajari sistem pelatihan berbasis *Virtual Reality* dalam bidang militer

1.5.2 Manfaat Praktis

- a. Hasil Tesis ini dapat diimplementasikan untuk pelatihan pelemparan granat bagi Tentara Nasional Indonesia
- b. Sistem yang dihasilkan dapat menjadi pedoman dalam pengembangan sistem pelatihan lainnya

1.6 Kontribusi Penelitian

Pelatihan pelemparan granat merupakan salah satu latihan yang krusial bagi satuan tentara. Pelatihan ini dinilai penting dikarenakan granat merupakan senjata yang sangat ampuh dalam ruang tertutup. Namun, pelatihan pelemparan granat memerlukan lapangan latihan yang sangat luas, biaya granat yang mahal, dan resiko keamanan yang cukup besar.

Terlebih lagi, penelitian terdahulu yang membahas simulasi latihan pelemparan granat masih sedikit. Alat yang dirancang oleh Zen Technologies dan Serious Simulations dapat mengurangi biaya yang diperlukan serta mengurangi resiko terjadinya cedera. Namun, untuk menggunakan alat tersebut masih memerlukan ruang latihan yang sangat luas. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan simulasi seperti VR. Tetapi, penggunaan teknologi ini pada infanteri masih terbatas pada pelatihan Battle Plan (Harris et al., 2023) dan persenjataan ringan. Oleh karena itu, penelitian ini bermaksud untuk mengembangkan Sistem Pelatihan Pelemparan Granat dengan memanfaatkan Teknologi VR.

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Untuk menekan biaya operasional latihan dan mengurangi resiko, VR sering digunakan sebagai alternatif pelatihan pada angkatan bersenjata. Pada tahun 2003, North Atlantic Treaty Organization (NATO) mengeluarkan sebuah laporan mengenai potensi VR yang dapat dan telah digunakan dalam pelatihan militer di berbagai bidang (NATO, 2003). Penelitian pertama yang berjudul “*Virtual Reality and its Military Utility*” memberikan beberapa alasan mengapa teknologi VR relevan digunakan dalam pelatihan militer. Penelitian ini membahas bagaimana pelatihan yang menggunakan teknologi VR dapat membantu militer dalam berlatih pada beberapa area tertentu. Pelatihan militer yang menggunakan teknologi VR dapat memberikan solusi dimana latihan dapat dilakukan tanpa membahayakan nyawa prajurit serta peralatan yang ada. Namun, pada saat itu pelatihan militer yang menggunakan teknologi VR belum dapat menggantikan pelatihan yang sesungguhnya (Lele, 2011).

Penelitian kedua yang berjudul “*The Effects of VR in training simulators: Exploring perception and knowledge gain*” meneliti faktor-faktor yang mempengaruhi persepsi dan perolehan pengetahuan dalam simulasi yang menggunakan VR. Penelitian dilakukan dengan melakukan dua percobaan yaitu percobaan yang berfokus pada persepsi pengguna dan percobaan yang berfokus pada perolehan pengetahuan. Penelitian ini menunjukkan bahwa pengguna lebih mudah untuk mendapatkan esensi pelatihan apabila simulasi disertakan dengan interaksi yang natural (Menin et al., 2022).

Penelitian berikutnya yang berjudul “*Haptically enabled simulation system for firearm shooting training*” mencoba untuk mengembangkan pelatihan menggunakan pistol agar semakin terkesan nyata. Penelitian ini mengembangkan sebuah simulasi pelatihan yang melibatkan sebuah prototip pistol, motion capture, dan aplikasi latihan tembak. Penelitian ini telah berhasil membangun sebuah simulasi pelatihan yang dimana pengguna benar-benar merasakan seperti sedang menembak pistol yang sesungguhnya dengan adanya hentakan (recoil) saat menembak. Jarak, gaya gravitasi, serta recoil tembakan juga menjadi pertimbangan dalam perhitungan kecepatan peluru sehingga hasil tembakan juga semakin tepat (Wei et al., 2018).

Penelitian berikutnya yang berjudul “*A Cost-Effective Interactive 3D Virtual Reality System Applied to Military Live Firing Training*” membahas tentang performa latihan tembak senapan menggunakan VR dibandingkan dengan latihan sesungguhnya. Pada penelitian ini, peneliti merancang sebuah senapan yang bekerja seperti senapan asli yang memanfaatkan cahaya inframerah untuk menjadi penanda dimana peluru akan mengenai target. Responden menunjukkan bahwa mereka lebih suka dan berperforma lebih baik apabila melakukan latihan dengan memanfaatkan teknologi VR (Kumar & Liou, 2016).

Ringkasan penelitian terdahulu dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2. 1 Ringkasan penelitian terdahulu

Judul	Penulis	Tahun	Hasil
<i>Virtual Reality and its Military Utility</i>	Ajele Lele	2021	Penelitian ini membahas mengenai potensi penggunaan VR dalam militer. Penelitian ini menilai bahwa

			VR akan semakin banyak digunakan pada latihan militer dikarenakan potensinya dalam meminimalisir biaya dan resiko
The Effects of VR in training simulators: Exploring perception and knowledge gain	Aline Menin, Rafael Torchelsen, Luciana Nedel	2022	Penelitian ini menunjukkan bahwa dalam VR, konfigurasi latihan yang semakin menyerupai lingkungan yang sebenarnya akan meningkatkan performa pengguna
Haptically enabled simulation system for firearm shooting training	Lei Wei, Hailing Zhoul, Saeid Nahavandi1	2018	Penelitian ini mengembangkan latihan tembak pistol yang memperhatikan aspek baik pada pistol (Hentakan dan berat pelatuk) dan lingkungan (Jarak, gravitasi, dan hentakan) sehingga dapat membangun pelatihan virtual yang lebih nyata
A Cost-Effective Interactive 3D <i>Virtual Reality</i> System Applied to Military Live Firing Training	Kaushal Kumar Bhagat, Wei-Kai Liou, Chun-Yen Chang	2016	Responden pada pelatihan ini menganggap bahwa mereka lebih termotivasi berlatih dan lebih mudah dalam memahami apabila melakukan latihan tembak dengan memanfaatkan teknologi VR. Alat yang dikembangkan juga lebih ekonomis karena tidak menggunakan peluru. Namun, penelitian ini masih belum dilakukan dalam kondisi cuaca yang berbeda beda

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Virtual Reality* (VR)

VR adalah teknologi yang dapat menggantikan persepsi pengguna dengan tampilan yang dihasilkan oleh program komputer (Xie et al., 2021). Dengan menggunakan VR, pengguna dapat berinteraksi dengan lingkungan 3D dimana konsep-konsep yang sangat abstrak ataupun tidak rasional dapat diwujudkan. Sebagai contoh, dengan menggunakan VR, pengguna dapat berinteraksi dengan pembuluh darah manusia dan berkeliling didalamnya (Kadri et al., 2024).

Teknologi VR dapat dibedakan menjadi 3 tipe (Saredakis et al., 2020):

1. Non-Immersive VR

Pada Non-Immersive VR, pengguna berinteraksi dengan lingkungan yang dibangun lewat komputer dengan komputer dan mouse sebagai alat kontrolnya. Pengguna tidak berinteraksi secara langsung, namun mengendalikan karakter yang dapat berinteraksi dengan lingkungan tersebut. Teknologi ini lebih biasa dikenal di dalam game konsol maupun PC.

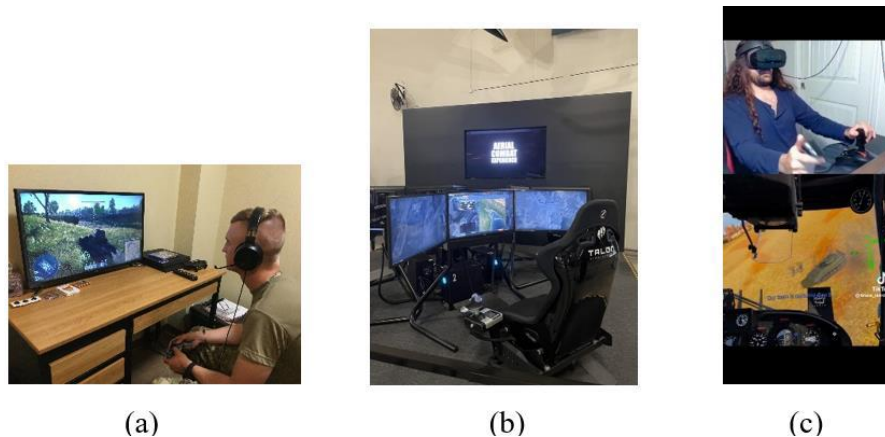
2. Semi-Immersive VR

Pada Semi-Immersive VR, pengguna berinteraksi secara parsial dengan lingkungan yang dibangun. Pengguna tidak secara langsung masuk ke dalam dunia virtual, namun berada

dalam sebuah ruangan yang telah diproyeksi dengan layar. Teknologi ini biasanya memanfaatkan layar proyektor ataupun komputer dengan layar yang besar.

3. Immersive VR

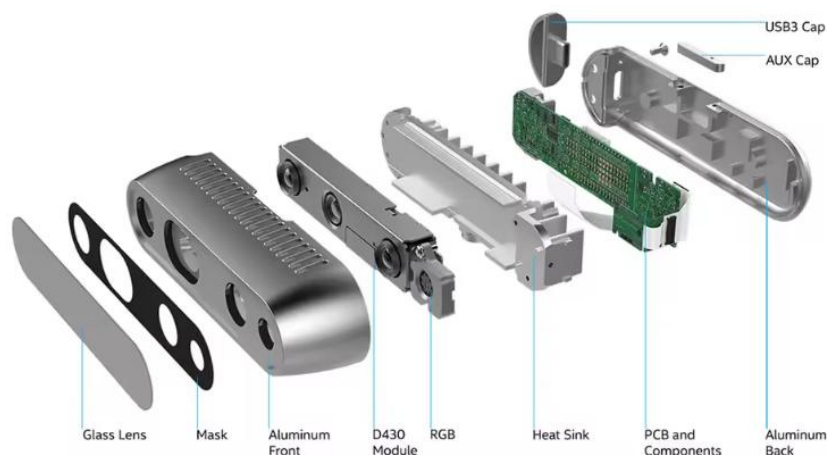
Pada Immersive VR, pengguna berinteraksi secara langsung dengan lingkungan yang dibangun. Teknologi ini biasanya dibantu dengan memanfaatkan Head Mounted Display (HMD) sehingga persepsi pengguna sepenuhnya akan digantikan oleh proyeksi komputer. Pengguna yang menggunakan teknologi ini akan merasakan sensasi dalam lingkungan yang benar-benar berbeda dan terisolasi dari lingkungan yang sebenarnya.



Gambar 2. 1 Permainan Online War Thunder Menggunakan (a) Non-Immersive VR (b) Semi-Immersive VR (c) Immersive VR

2.2.2 Intel Realsense D435

Depth Camera merupakan kamera yang dapat menangkap gambar tidak hanya berdasarkan warna (RGB), tetapi juga dapat menangkap kedalaman (Depth) dari objek pada gambar. Oleh karena itu, *Depth Camera* sering disebut sebagai RGB-D Camera (Xu et al., 2019). Salah satu *Depth Camera* yang tersedia dalam pasar adalah Intel Realsense D435. Kamera ini merupakan *Depth Camera* yang mendapatkan nilai Depth dengan menggunakan Stereo Vision dimana kamera sebenarnya memiliki 2 IR Camera dengan posisi yang sedikit berbeda di dalam perangkat (Intel Realsense, 2024).



Gambar 2. 2 Komponen Kamera Intel Realsense D435i

2.2.3 3D Printing

3D Printing merupakan teknik dalam Additive Manufacturing (AM) untuk membangun berbagai macam struktur model digital 3 dimensi menjadi objek 3 dimensi yang dapat disentuh dan dipegang (Gao et al., 2015). 3D Printer bekerja dengan cara membangun lapisan dua dimensi secara bertahap dari bawah hingga atas sampai membentuk model yang diinginkan. Teknologi ini memiliki keuntungan dibanding dengan teknologi manufaktur tradisional dikarenakan kemampuannya untuk memproduksi model dengan bentuk yang sangat spesifik dan rumit (Yampolskiy et al., 2016).

Pengaplikasian 3D printing tidak terbatas dengan skala industri. Dalam skala kecil, teknologi 3D printing dapat dimanfaatkan sebagai hobi, alat bantu dalam dunia medis, serta Internet of Things (IoT) (Ozer et al., 2022; Wang et al., 2024). Dalam skala yang lebih besar, teknologi 3D printing dimanfaatkan dalam membangun balok beton dan juga komponen senjata (Chan et al., 2020; Guan et al., 2025).

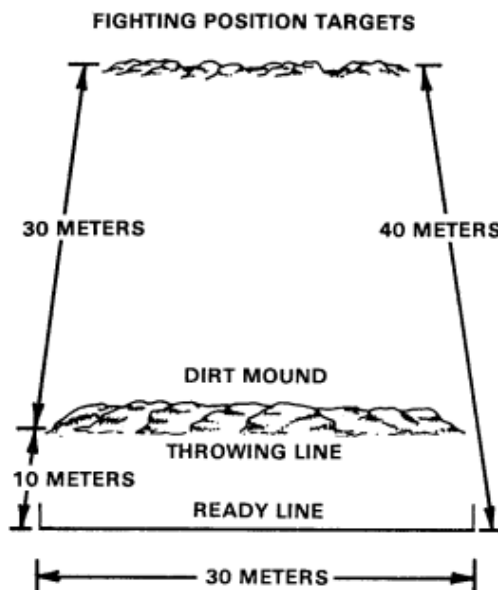


Gambar 2.3 Hasil Cetakan 3D Pada Berbagai Senjata

2.2.4 Daerah Latihan Lempar Granat

Daerah Latihan Lempar Granat merupakan tempat pelatihan pelemparan granat bagi angkatan bersenjata. Latihan ini terdiri dari latihan keamanan dalam memegang granat serta latihan pelemparan granat. Latihan ini merupakan jenis latihan yang membutuhkan pengawasan yang lebih ketat oleh pengawas. Namun, pengawasan ini akan lebih melonggar seiring dengan meningkatnya kemampuan angkatan bersenjata dalam melempar granat.

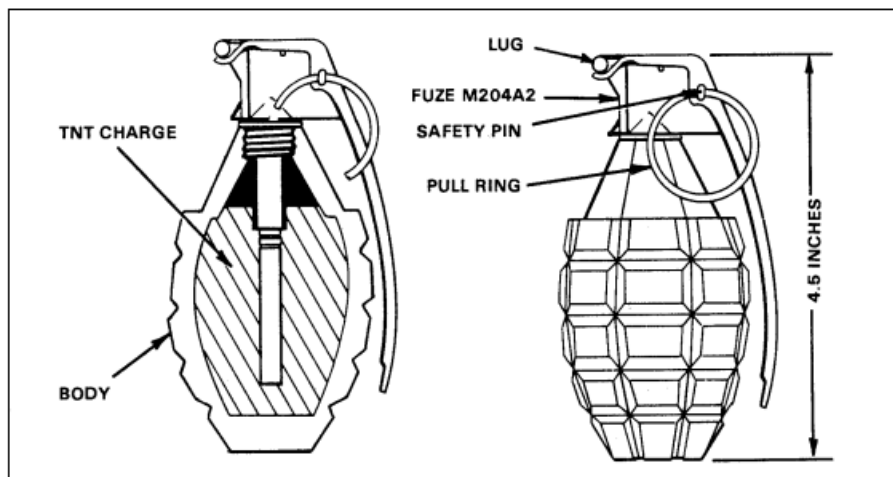
Pada umumnya, daerah latihan lempar granat terdiri dari daerah lempar dan target lemparan. Daerah lempar dapat dilindungi oleh berbagai objek yang dapat menahan fragmentasi seperti gundukan tanah ataupun balok beton. Target latihan memiliki jarak sekitar 30 meter dari daerah lempar. Daerah latihan memiliki lebar 30 meter dan panjang 40 meter (U.S. Department of the Army, 2000).



Gambar 2. 4 Daerah Latihan Lempar Granat

2.2.5 Granat Fragmentasi MK2

Granat tangan fragmentasi MK2 merupakan granat tangan yang digunakan untuk membantu senjata ringan dalam pertempuran jarak dekat. Granat ini memiliki kemampuan membunuh dengan menyebarkan fragmentasi dengan kecepatan tinggi saat meledak. Granat ini memiliki jarak lempar sekitar 30 meter dan ledakan yang fatal dengan radius 10 meter. Meskipun granat ini memiliki daerah fatal dengan radius 10 meter, fragmentasi masih dapat tersebar hingga radius 230 meter. Termasuk dengan bahan peledak, granat ini memiliki berat sekitar 600 gram.

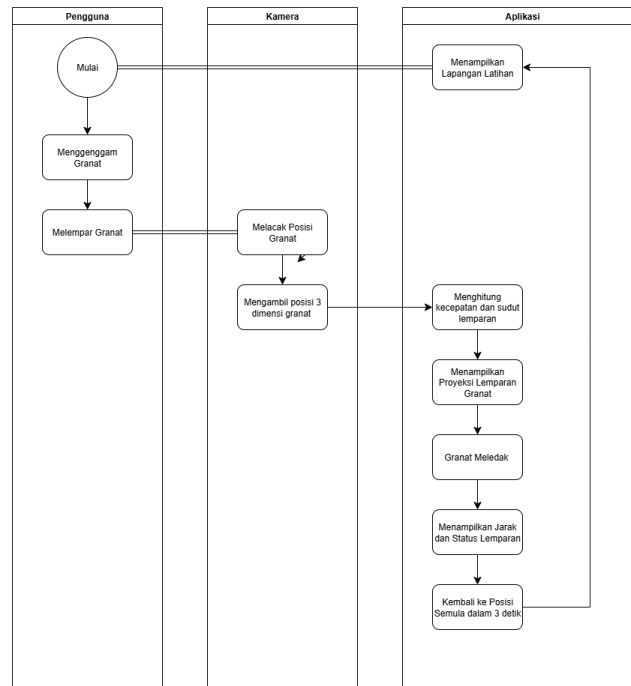


Gambar 2. 5 Granat Fragmentasi MK2

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Sistem

Blok diagram ini merupakan gambaran dasar mengenai sistem pelatihan yang akan dirancang.



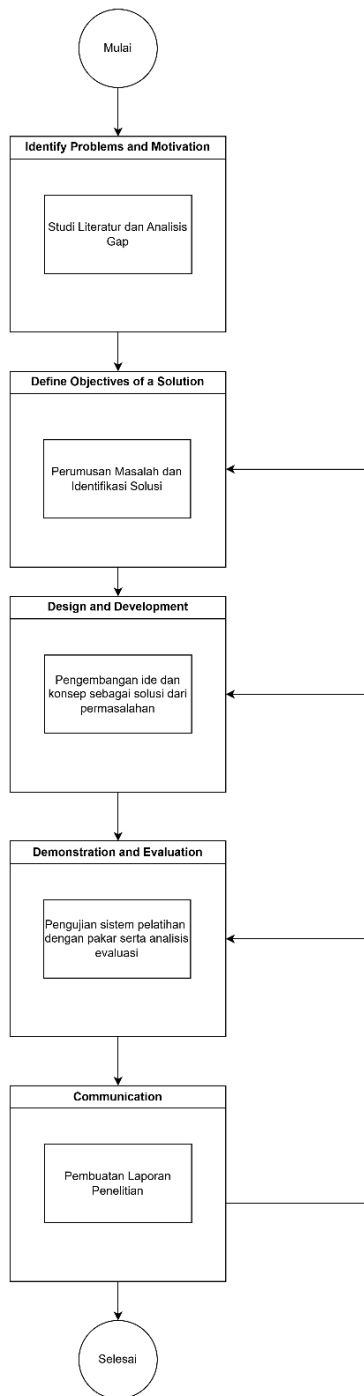
Gambar 3. 1 Blok Diagram Sistem Pelatihan

Blok diagram ini memiliki dua jenis garis. Garis panah menunjukkan alur sistem pelatihan, garis putus putus menunjukkan proses paralel. Pada saat rangkaian pelatihan dimulai, Aplikasi akan menampilkan lapangan latihan dan kamera akan langsung melacak posisi granat. Kemudian, pengguna akan menggenggam granat dan bersiap untuk melempar granat. Saat granat dilempar, kamera akan melacak posisi granat saat granat lepas dari tangan pengguna sampai lemparan selesai.

Dari frame yang terdeteksi, akan didapatkan koordinat berupa 3 dimensi. Koordinat ini akan diolah oleh aplikasi untuk menghitung kecepatan dan sudut lemparan. Setelah itu, aplikasi akan menampilkan proyeksi lemparan granat. Setelah granat dilempar maka granat akan meledak 4 detik. Lalu, aplikasi akan menunjukkan jarak lemparan dan status apakah granat berhasil mengenai target atau tidak. Lalu, setelah 3 detik, aplikasi akan kembali ke kondisi awal dan latihan siap dilakukan kembali.

3.2 Metode Penelitian

Tesis ini mengadopsi metodologi *Design Science Research Methodology* (DSRM). Metode ini bertujuan untuk membuat sebuah artefak (produk) yang akan secara terus menerus dievaluasi apakah sudah sesuai dengan tujuannya.



Gambar 3. 2 Metode Penelitian

3.2.1 *Identify Problem and Motivation*

Studi literatur yang berkaitan dengan konsep teknologi VR, granat, dan latihan militer serta penelitian terkait yang relevan dan sudah pernah dilakukan oleh peneliti lain. Sumber studi literatur ini dapat berupa buku, jurnal, website, ataupun buku manual dan pedoman yang tersedia. Studi literatur berupa jurnal dan buku dilakukan untuk menganalisis gap pada penelitian-penelitian terdahulu yang mendorong dilakukannya penelitian ini serta untuk memberi pengetahuan yang lebih mengenai topik tesis ini. Sumber literatur berupa buku manual dan pedoman diperoleh untuk mengetahui secara detail bagaimana latihan lempar granat dilakukan dan juga performa granat itu sendiri.

3.2.2 *Define Objectives and Solution*

Pada tahapan ini, dilakukan perumusan masalah berdasarkan studi literatur yang akan menentukan arah tesis ini. Hasil dari studi literatur menunjukkan bahwa saat ini belum ada Sistem Pelatihan Pelemparan Granat yang memanfaatkan teknologi VR untuk mengurangi biaya, resiko, serta luas lapangan yang dibutuhkan untuk berlatih. Setelah ditemukannya rumusan masalah, kemudian dilakukan identifikasi solusi yang dapat dilakukan serta tujuan dari tesis ini.

3.2.3 *Design and Development*

Pada tahap ini, perancangan serta pembuatan sistem pelatihan dilakukan. Sistem pelatihan ini akan terdiri dari 3 komponen utama yaitu Granat, Kamera, dan Aplikasi. Rincian setiap komponen adalah sebagai berikut:

a. Granat

Pada tesis ini, akan dilakukan pencetakan granat dengan memanfaatkan teknologi 3D Printing. Granat akan dicetak dengan ukuran 1:1 dengan ukuran aslinya dan akan diisi sedemikian rupa agar mendapatkan berat yang sesungguhnya, yaitu 600 gram. Granat juga akan dikelilingi dengan rancangan touch sensor yang akan berinteraksi dengan Mikrokontroler untuk memberikan “Status Granat”.

b. Kamera

Kamera berfungsi untuk melacak posisi granat selama latihan berlangsung. Dengan memanfaatkan teknologi kamera RGB-D, posisi granat dapat diperoleh dalam 3 sumbu (x, y, z) yang sangat mempermudah proses perhitungan tanpa memerlukan kamera tambahan.

c. Aplikasi

Aplikasi berfungsi sebagai pengolah data yang diberikan oleh mikrokontroler dan kamera serta sebagai sarana tampilan lapangan latihan. Setelah granat dilempar, aplikasi akan menghitung kecepatan granat setelah dilempar dan juga sudut lemparan granat berdasarkan data yang diberikan oleh kamera. Lalu, hasil lemparan tersebut akan divisualisasikan dan dapat dilihat oleh pengguna.

3.2.4 *Demonstration and Evaluation*

Pada tahap ini, peneliti akan melakukan pengujian terlebih dahulu secara blackbox untuk memastikan performa sistem pelatihan sudah sesuai dengan yang diharapkan. Kemudian, sistem pelatihan akan diuji dengan pakar yang berkaitan untuk memastikan bahwa sistem VR layak digunakan. Evaluasi akan dilakukan dengan melaksanakan *System Usability Survey* (SUS) dan wawancara terbuka yang kemudian akan ditarik kesimpulan berdasarkan hasil yang didapat. Pengujian akan dilakukan dengan meminta bantuan 2 responden yang berstatus 2 instruktur TNI. Setiap responden akan diminta untuk melakukan pelemparan menggunakan alat simulasi dan kemudian diberikan SUS menggunakan Google Form. Responden juga akan diberikan beberapa pertanyaan mengenai kenyamanan penggunaan alat, keakuratan alat, serta tantangan yang ditemui saat melakukan pelatihan. Pertanyaan yang akan diajukan pada SUS dapat dilihat pada Tabel 3. 1.

Tabel 3. 1 Daftar pertanyaan untuk SUS

No.	Pertanyaan
1	Saya merasa ingin menggunakan simulator pelatihan granat ini secara rutin

2	Saya merasa simulator ini terlalu rumit untuk digunakan
3	Saya merasa simulator ini mudah untuk digunakan
4	Saya merasa membutuhkan bantuan teknis untuk bisa menggunakan simulator ini
5	Saya merasa fitur-fitur dalam simulator ini terintegrasi dengan baik
6	Saya merasa simulator ini merepotkan untuk digunakan
7	Saya merasa percaya diri saat menggunakan simulator pelatihan granat ini
8	Saya merasa perlu mempelajari banyak hal terlebih dahulu sebelum bisa menggunakan simulator ini
9	Saya mengalami kebingungan saat menjalankan simulasi pelemparan granat
10	Simulator ini terasa realistis dan mendukung tujuan pelatihan granat

3.2.5 Communication

Pada tahap ini, dokumentasi serta hasil yang didapat selama penelitian akan dituangkan ke dalam Buku Tesis. Buku Tesis akan menyimpan seluruh proses mulai dari identifikasi masalah hingga kesimpulan. Harapannya, hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam bidang ilmu pengetahuan VR dan teknologi militer.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Lingkungan Uji Coba

Aplikasi simulasi ini diimplementasikan pada perangkat Laptop dengan spesifikasi sistem operasi Windows 11, *processor* Intel i5-13450HX, RAM 20 GB DDR5, dan GPU NVIDIA Geforce RTX 3050m. Aplikasi simulasi dibangun menggunakan Unity 6000.0.38f1 dan Model machine learning dibangun menggunakan Python 3.11.

4.2 Hasil Perancangan dan Pengembangan Sistem

4.2.1 Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan dilakukan untuk mengetahui kebutuhan dalam pengembangan sistem. Tahap ini mencakup kebutuhan dari ruangan, perangkat keras, perangkat lunak, kebutuhan fungsional, dan kebutuhan non-fungsional yang perlu disediakan dalam pengembangan sistem pelatihan. Daftar kebutuhan perangkat keras dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan kebutuhan perangkat lunak dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Kebutuhan Perangkat Keras

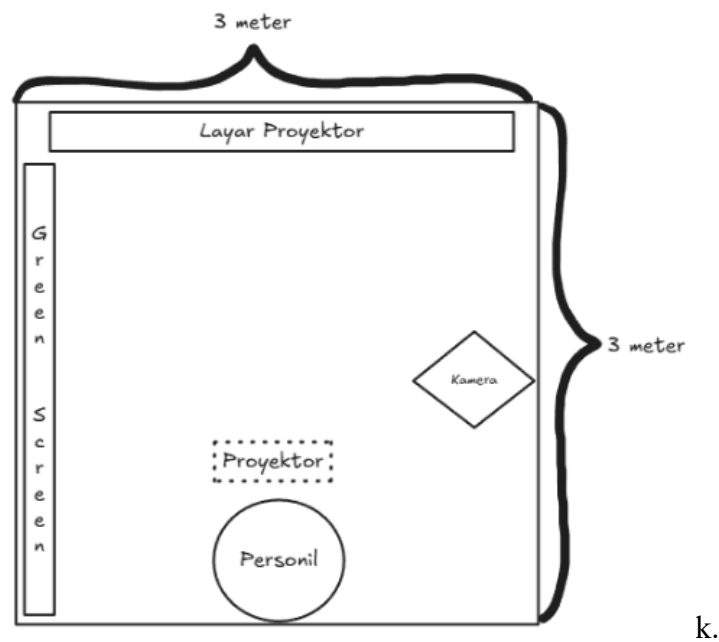
No	Perangkat Keras	Spesifikasi yang digunakan	Fungsi
1	Laptop	Sistem operasi Windows 11 64-bit, <i>processor</i> Intel i5-13450X, RAM 20 GB DDR5, NVIDIA Geforce RTX 3050m	Menjalankan aplikasi simulasi pelatihan
2	<i>Depth Camera</i>	Intel Realsense D435. Ideal Range .3m to 3m, FOV 87 x 58, max 30 FPS RGB, max 90 FPS depth	Mendeteksi granat yang dilempar
3	Proyektor	Proyektor Sony	Menampilkan lapangan latihan pada layer
4	Resin 3D Printer	Flashforge Hunter DLP Printer	Mencetak model 3D Granat

Tabel 4.2 Tabel Kebutuhan Perangkat Lunak

No	Perangkat Lunak	Versi yang digunakan	Fungsi
1	Python	3.11	Menjalankan model machine learning dan server
2	Blender	4.4	Sebagai IDE editor objek 3D
3	Visual Studio Code	1.101.2.0	Sebagai IDE untuk kode program yang digunakan menggunakan C#
4	Unity	6000.0.38f1	Sebagai IDE untuk pengembangan aplikasi
5	FlashDLPrint		Sebagai <i>Slicer</i> untuk model 3D

Dikarenakan keterbatasan kamera dalam mendeteksi pada rentang jarak tertentu, maka diperlukan sebuah layout ruangan untuk memastikan bahwa kamera dapat berjalan seefektif mungkin. Ruangan yang dibutuhkan memiliki dimensi 3x3 untuk Panjang serta lebarnya dan

tinggi ruangan minimal 4 meter untuk mengakomodasi lemparan granat. Layout ruangan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Rancangan Ruang Latihan

Aplikasi memiliki kebutuhan fungsional dan kebutuhan non-fungsional yang harus dipenuhi untuk memastikan aplikasi berjalan dengan lancar. Kebutuhan fungsional dari sistem pelatihan dapat dilihat pada Tabel 4.3. Untuk kebutuhan non-fungsional berupa kemudahan dalam pemakaian (*usability*) dan FPS tidak dibawah 60 FPS (*Performance*).

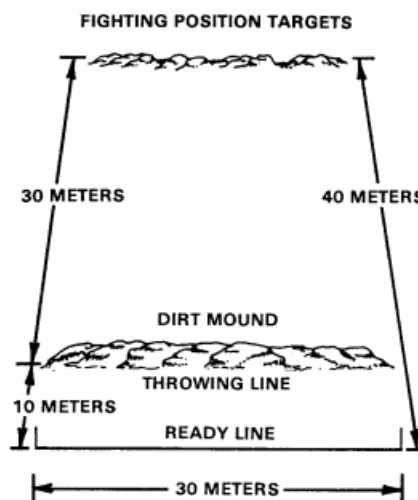
Tabel 4.3 Kebutuhan Fungsional

Kode	Kebutuhan fungsional	Deskripsi
F001	Memilih area Latihan	Pengguna dapat memilih area Latihan sesuai jenis Latihan yang dipilih
F002	Mengubah posisi target	Pengguna dapat mengubah posisi target pada jenis Latihan dengan target statis (Lemparan biasa dan lemparan parit)
F003	Kamera mendeteksi granat	Kamera harus dapat mendeteksi granat pada saat dilempar
F004	Simulasi lemparan	Lemparan granat harus disimulasikan dengan tepat dan sebisa mungkin seperti melempar granat aslinya
F005	Granat meledak	Granat dapat meledak 4 detik setelah dilempar

4.2.2 Desain Area Latihan

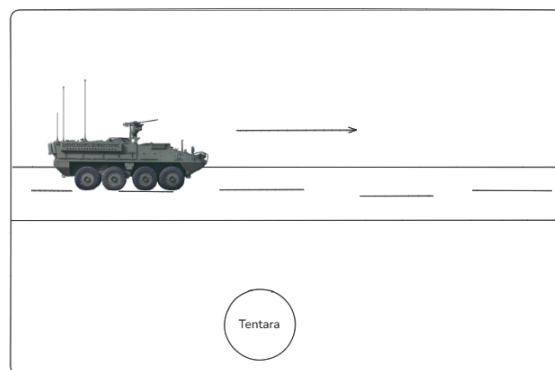
Tahapan ini berisi perancangan setiap area latihan yang akan digunakan. Pada penelitian ini, tiga jenis area pelatihan dirancang dengan target ataupun tujuan yang berbeda. Pada pelatihan lempar granat yang sesungguhnya, lemparan dinilai lewat seberapa jauh titik ledakan granat dengan target yang disediakan. Jarak maksimal ledakan ke target untuk dinilai “Kena” adalah 4 meter. Pada latihan lempar granat, prajurit juga dapat berlatih dengan posisi tiarap.

Pengguna dapat memilih area latihan secara bebas sesuai dengan jenis latihan yang ingin dilatih. Area latihan pertama meliputi lapangan sebesar 30 x 40 meter dengan target adalah bendera berjarak 30 meter dari pengguna. Area latihan ini dirancang mengikuti buku pedoman pelatihan pelemparan granat (U.S. Department of the Army, 2000) seperti pada Gambar 4.2 Rancangan Area Latihan Pertama. Pada jenis Latihan ini, pengguna dapat mengubah posisi target secara jarak dan horizontal sesuai dengan kebutuhan.



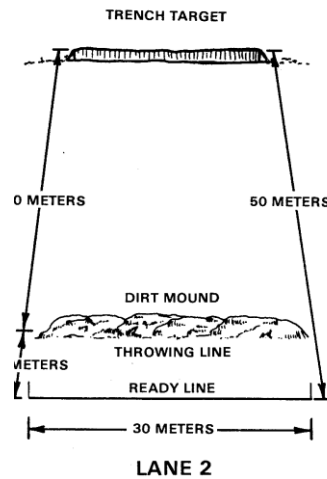
Gambar 4.2 Rancangan Area Latihan Pertama

Pada area latihan kedua, pengguna akan dihadapkan dengan sebuah *Armored Personnel Carrier (APC)* yang bergerak secara lurus. Tujuan dari area latihan ini adalah untuk menghentikan pergerakan APC dengan meledakkan roda. Pengguna akan diminta untuk melempar granat seakurat mungkin agar dapat menyerang target yang bergerak. Pada area latihan ini, pengguna dapat merubah kecepatan APC sesuai dengan kebutuhan. Rancangan area latihan kedua terlihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Rancangan Area Latihan Kedua

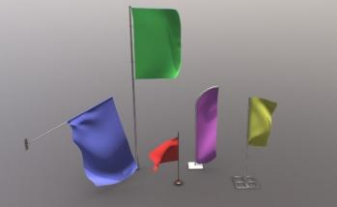
Pada area latihan ketiga, pengguna akan dihadapkan dengan sebuah parit. Pengguna akan diminta untuk melempar granat kepada target bendera yang berada di dalam parit. Pada area latihan ini, pengguna dapat merubah kedalaman serta lebar parit. Rancangan area latihan ketiga dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Rancangan Area Latihan Ketiga

Penelitian ini juga menggunakan aset 3D dalam pembangunan aplikasi sistem pelatihan pelemparan granat. Aset 3D digunakan untuk membangun lingkungan area latihan serta objek yang dibutuhkan pada area latihan. Aset 3D yang digunakan juga sudah dipastikan memiliki lisensi yang menyatakan dapat digunakan secara bebas. Daftar aset beserta sumbernya dapat dilihat pada Tabel 4.4 **Error! Reference source not found..**

Tabel 4.4 Tabel Sumber Aset 3D

Nama	Gambar Model	Sumber
Bendera		https://www.fab.com/listings/a88bf093-ddfe-44e6-8e5b-3ef0cede7e91
APC K17		https://sketchfab.com/3d-models/apc-k17-f1854edaefa94cf387865ea6a88db692#download
Jalan		https://assetstore.unity.com/packages/3d/characters/easyroads3d-free-v3-987

Pepohonan dan Lingkungan		https://assetstore.unity.com/packages/tools/terrain/nature-renderer-6-free-285961
--------------------------	---	---

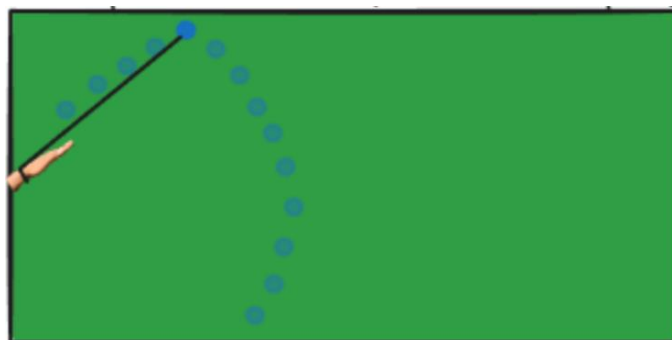
4.2.3 Desain Model 3D Granat

Penelitian ini juga menggunakan aset 3D yang digunakan dalam pencetakan 3D Granat. Aset 3D diperoleh dari situs Thingiverse dengan Author Otrozone. Otrozone menyediakan model cetakan 3D Granat MK2 dengan ukuran yang sesuai dengan granat aslinya. Model yang disediakan telah diberikan lisensi *Creative Commons - Attribution - Non-Commercial license* sehingga dapat digunakan dan diadaptasikan secara bebas dengan tujuan non-komersil. Daftar aset yang digunakan beserta sumbernya ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Tabel Sumber Model 3D

Nama	Gambar Model	Sumber	Deskripsi
Granat		https://www.thingiverse.com/thing:5912403	Model cetakan 3D granat

Dikarenakan ruangan area latihan dirancang untuk memiliki ukuran yang sangat kecil guna mengurangi area latihan yang digunakan, maka granat akan diikat dengan gelang yang akan digunakan oleh pengguna. Tujuan dilakukan tindakan ini agar granat tidak terlempar sepenuhnya dan berpotensi untuk merusak ruangan ataupun granat itu sendiri. Oleh karena itu, rancangan granat kemudian dimodifikasi dengan menambahkan *loop* pada bagian bawah granat dengan diameter sekitar 7 mm. Sebuah tali sepanjang $\pm 1,5$ meter kemudian akan menghubungkan gelang yang digunakan pengguna dengan granat. Dengan begitu, granat tidak akan terlempar sangat tinggi ataupun sangat jauh dari pengguna.



Gambar 4. 5 Rancangan Tali Granat

4.2.4 Implementasi Area Latihan dan 3D Printing

Dikarenakan keterbatasan ruangan, area latihan dibangun dengan menyatukan 2 tenda yang masing-masing memiliki dimensi 3x3x2 meter secara timpa tindih untuk mendapatkan ruangan dengan dimensi 3x3x4 meter. Setelah itu, tenda juga dipasangkan terpal yang bertindak sebagai “dinding ruangan” untuk menutupi area latihan. Untuk menjaga kestabilan tenda dari gangguan

angin, kaki tenda diikat dengan kayu yang telah ditanam di sebelah kaki tenda. Area latihan yang telah dibangun dapat dilihat pada Gambar 4. 6.



Gambar 4. 6 Tenda Area Latihan

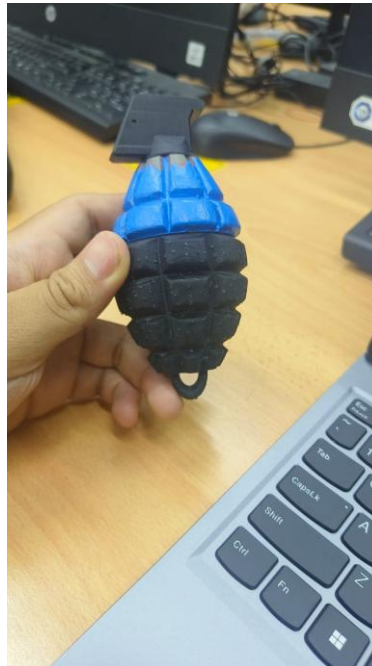
Namun, terdapat tantangan yang ditemui setelah tenda dibangun. Kayu yang digunakan untuk menopang tenda hanya dapat menjaga tenda pada posisi yang telah ditentukan. Kaki-kaki tenda yang dibaut terkadang melengkung apabila angin meniup dengan sangat kuat seperti pada Gambar 4. 7. Kaki yang melengkung ini menimbulkan resiko jatuhnya tenda apabila angin meniup dengan sangat kuat dan dalam waktu yang lama. Pada saat penelitian ini berlangsung, masih belum dilakukan tindakan untuk mengantisipasi hal ini.



Gambar 4. 7 Kaki Tenda yang Melengkung

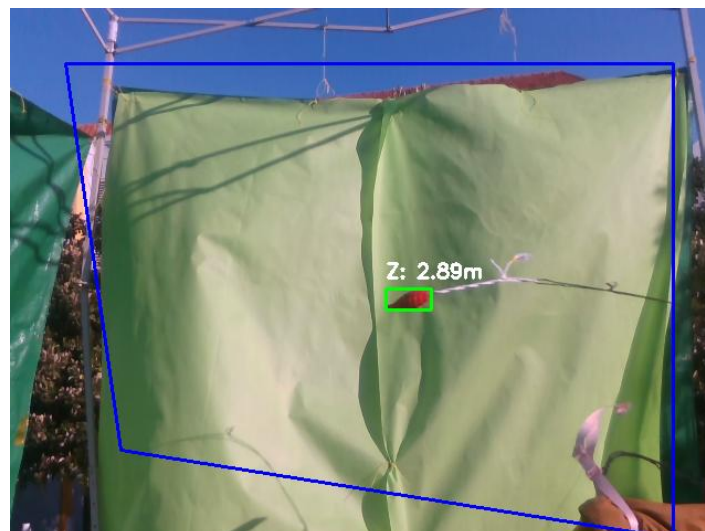
Model 3D Granat dicetak menggunakan Printer 3D FlashForge Hunter DLP Print. Jenis printer ini dapat mencetak model 3D dengan sangat detail. Resin yang digunakan pada penelitian ini menggunakan Esun Hard-Tough Resin. Resin ini dipilih dikarenakan harganya yang terjangkau dan juga tingkat kekerasannya yang sangat tinggi sehingga cocok digunakan untuk granat yang sangat sering dilempar dan juga *loop* yang menahan tarikan dari tali. Hasil cetakan granat akan dicat menggunakan cat akrilik berwarna merah agar granat dapat dengan

mudah dibedakan dengan warna terpal yaitu hijau. Gambar 4.8 menunjukkan hasil cetakan granat sebelum dicat.



Gambar 4.8 Cetakan Granat yang Diberi Loop

Loop pada granat akan diikat menggunakan simpul tali dan akan terhubung dengan gelang yang digunakan oleh pengguna. Hal ini dilakukan untuk mencegah granat terlempar terlalu jauh dan memastikan granat tidak melewati ruangan yang telah disiapkan. Gambar 4.9 menunjukkan granat yang dilempar setelah *loop* diikat dengan tali.



Gambar 4.9 Granat Terikat dengan Tali

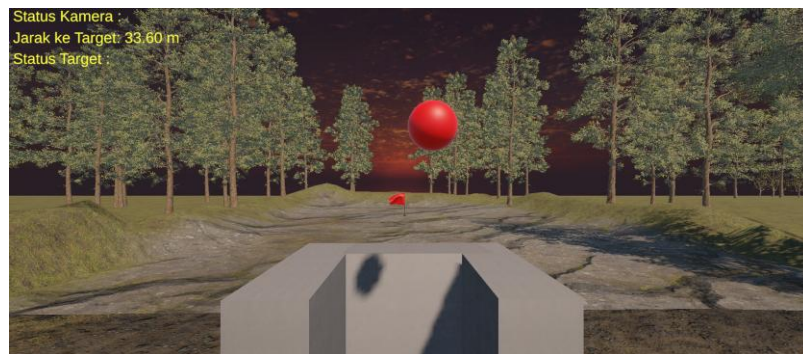
4.2.5 Implementasi Software Sistem Pelatihan

1. Implementasi Tampilan Antarmuka

Sesuai dengan rancangan yang sudah ditentukan sebelumnya, sistem pelatihan akan memiliki 3 jenis area pelatihan. Gambar 4.10 menunjukkan tampilan antarmuka pada aplikasi sistem pelatihan. Pada area latihan ini, pengguna akan dihadapkan dengan

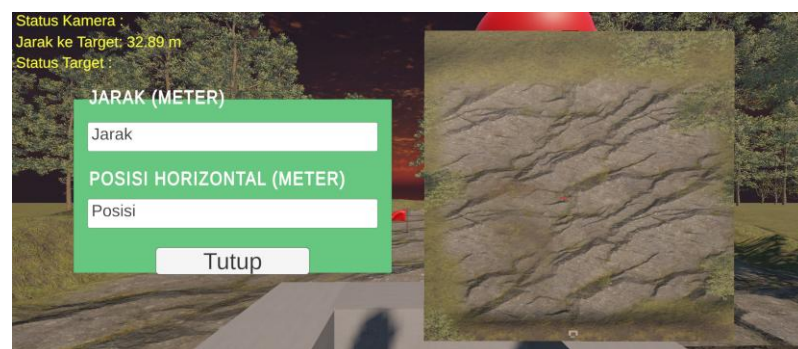
sebuah lahan kosong dengan bendera sebagai target yang pada posisi awalnya berada 30 meter di depan pengguna. Pada antarmuka juga ditambahkan beberapa parameter seperti Status Kamera, Jarak ke Target, dan Status Target.

Status Kamera merupakan kondisi kamera saat ini dengan 3 jenis status yaitu “Off”, “Standby”, dan “Mencari Granat”. Status “Off” menyatakan bahwa kamera tidak terhubung dengan komputer. Status “Standby” menyatakan bahwa kamera telah terhubung dengan komputer dan siap digunakan. Status “Mencari Granat” didapat setelah pengguna menekan tombol “N” dimana kamera akan menjalankan model yang dipakai untuk mencari granat dalam gambar secara berkala. Pengguna juga dapat menekan tombol “Y” untuk berpindah dari satu area latihan ke area latihan lainnya.



Gambar 4.10 Tampilan Antarmuka Awal

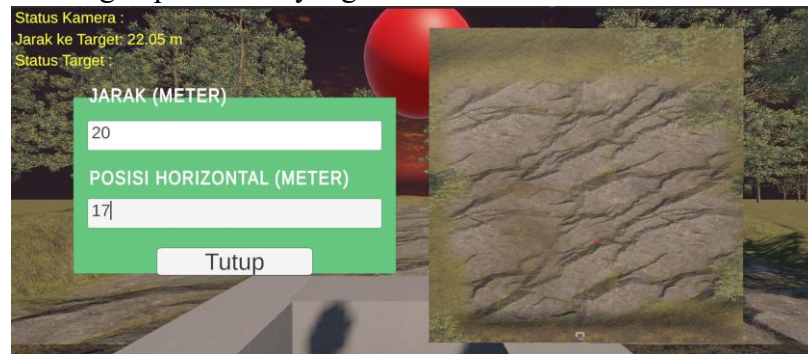
Untuk mengakses antarmuka perubahan posisi bendera, pengguna dapat menekan tombol “H”. Gambar 4.11 merupakan tampilan antarmuka untuk mengubah posisi bendera sesuai kebutuhan pengguna. Pengguna akan dihadapkan dengan layar yang menginformasikan posisi bendera saat ini serta input yang dapat digunakan untuk menentukan jarak dan posisi horizontal. Jarak yang dimaksud adalah jarak bendera dari pengguna secara tegak lurus sedangkan posisi horizontal merupakan pergeseran bendera dari kiri ke kanan. Kedua parameter ini ditentukan dalam satuan meter.



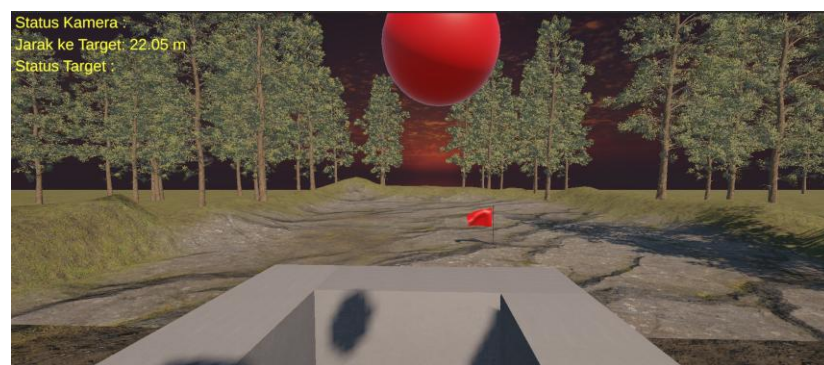
Gambar 4.11 Tampilan Antarmuka Parameter Latihan Pertama

Gambar 4.12 menunjukkan salah satu contoh tampilan saat jarak serta posisi horizontal bendera diubah. Pada layar, terlihat bahwa bendera sudah berpindah dari posisi awalnya. Perpindahan ini terjadi secara *real time* saat pengguna mengubah nilai pada kolom input. Untuk menutup tampilan antarmuka ini, pengguna dapat kembali

menekan tombol “H” atau dengan menekan tombol “Tutup” pada layar input. Pada Gambar 4.13, dapat dilihat bahwa bendera di hadapan pengguna sudah berubah posisinya sesuai dengan perubahan yang telah ditentukan.



Gambar 4.12 Perubahan Parameter Latihan Pertama



Gambar 4.13 Posisi Bendera Telah Berubah

Gambar 4.14 menunjukkan area latihan kedua yaitu area latihan dengan target sebuah APC yang bergerak secara lurus. Model APC yang digunakan adalah *Wheeled APC* yang menggunakan roda dan tidak menggunakan *track* sama sekali. Pada area latihan ini, pengguna dapat membuka antarmuka dengan menekan tombol “H” untuk mengubah kecepatan (km/jam) APC sesuai keinginan. Pada saat antarmuka tampil, APC akan berhenti sampai pengguna menekan “Enter” untuk mengkonfirmasi input. Setelah pengguna mengkonfirmasi input, APC akan berjalan dengan kecepatan sesuai input yang telah dimasukkan.



Gambar 4.14 Tampilan Antarmuka Latihan Kedua



Gambar 4.15 Tampilan Antarmuka Parameter Latihan Kedua

Gambar 4.16 menunjukkan area latihan ketiga yaitu area latihan dengan sebuah parit yang terletak di hadapan pengguna. Area latihan ini memiliki target yang sama dengan area latihan pertama, yaitu sebuah bendera merah. Pada area latihan ini, pengguna dapat mengatur kedalaman serta lebar parit dalam satuan meter menggunakan antarmuka dengan menekan tombol “H”. Setelah pengguna selesai memasukkan lebar dan kedalaman sesuai kebutuhan, pengguna akan menekan tombol “Simpan” dan parit akan terbentuk sesuai dengan input yang ditentukan seperti pada Gambar 4.17.



Gambar 4.16 Tampilan Antarmuka Parameter Latihan Ketiga



Gambar 4.17 Parit Telah Terbentuk

2. Implementasi Model Object Detection

Penelitian ini menggunakan metode Object Detection dengan menggunakan YOLOv11 sebagai basis model dan Roboflow sebagai website untuk melakukan anotasi data. Data diambil dengan merekam pelemparan granat menggunakan kamera Intel Realsense D435 secara berulang dan diekstraksi setiap framenya menjadi gambar.

Gambar yang diperoleh kemudian diberikan label menggunakan Roboflow. Gambar 4.18 menunjukkan contoh gambar sebelum diberikan label dan sesudah diberikan label.



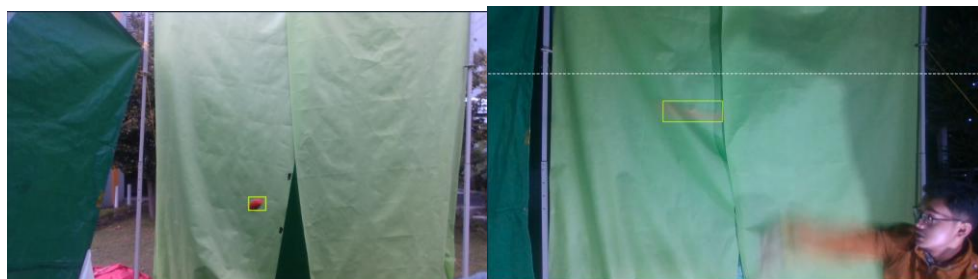
Gambar 4.18 Pelabelan Dataset

Pada proses pelabelan data, peneliti melihat perbedaan yang signifikan antara data yang diambil pada siang hari serta malam hari. Oleh karena itu, peneliti memberikan pencahayaan yang lebih intens pada pengambilan di malam hari dengan harapan mendapatkan hasil yang optimal. Gambar 4.19 menunjukkan kondisi tempat latihan pada malam hari dimana peneliti menambahkan 2 lampu *Flood Light* 50-Watt dan 1 lampu *Flood Light* 100-Watt.



Gambar 4.19 Kondisi Area Latihan di Malam Hari

Namun, setelah diberikan pencahayaan yang cukup intens, kamera masih cukup kesulitan untuk mengambil gambar dikarenakan pencahayaan yang dinilai masih kurang cukup. Pada Gambar 4.20, dapat dilihat perbedaan antara pengambilan gambar di siang hari dan malam hari. Pada siang hari, bentuk dan struktur granat terlihat sangat jelas dan tidak terlalu berbayang. Sebaliknya, dikarenakan pencahayaan yang kurang, kamera membutuhkan waktu yang sedikit lebih lama untuk menghasilkan gambar sehingga granat terlihat berbayang dan lebih meregang.



Gambar 4.20 Perbedaan Tangkapan Granat di Siang Hari dan Malam Hari

Setelah setiap gambar diberikan label, dilakukan *fine-tuning* model YOLOv11 menggunakan gambar yang telah dilabel. Proses *fine-tuning* dilakukan dengan memanfaatkan template kode sumber yang diberikan oleh Roboflow. Model dilatih pada platform Google Colab menggunakan GPU NVIDIA T4 dengan epoch sebanyak 35.

3. Implementasi Kamera D435

Penelitian ini menggunakan kamera Intel Realsense D435 untuk mendeteksi posisi serta jarak granat dari kamera. Kode Sumber, terletak pada file main.py dimana potongan kode ini berfungsi untuk memberikan *Region of Interest (ROI)* pada kamera serta mendeteksi granat. Pada Kode Sumber 4. 1 ROI dilakukan untuk membatasi daerah deteksi sehingga kamera tidak mendeteksi objek yang diabaikan seperti tubuh pengguna. Potongan kode yang mengatur ROI terdapat pada variable `roi_pts`. Konfigurasi ini kemudian diaplikasikan pada potongan kode `final_roi` dengan melakukan *masking* pada ROI yang ditentukan sebelumnya sehingga model hanya dapat mendeteksi objek pada daerah yang telah dilakukan *masking*.

```
def run(self):
    self.camera.start()

    # Precompute depth threshold and ROI mask
    raw_depth_threshold = config.WALL_DEPTH_THRESHOLD_M /
self.camera.depth_scale
    roi_pts = np.array(config.ROI_POINTS, dtype=np.int32)
    x0, y0 = np.min(roi_pts, axis=0)
    x1, y1 = np.max(roi_pts, axis=0)
    shifted_pts = roi_pts - [x0, y0]
    mask = np.zeros((y1 - y0, x1 - x0), dtype=np.uint8)
    cv2.fillPoly(mask, [shifted_pts], 255)

    if shared_state["detect_enabled"]:

        # crop & mask
        roi_color = color_image[y0:y1, x0:x1]
        roi_depth = depth_image[y0:y1, x0:x1]
        final_roi = cv2.bitwise_and(roi_color, roi_color,
mask=mask)
```

Kode Sumber 4. 1 Implementasi ROI

Pada metode penentuan jarak konvensional, jarak didapatkan dari nilai rata-rata jarak pada beberapa pixel sekitar titik pusat objek. Dikarenakan wujud granat yang terkadang berbayang pada kamera, metode penentuan jarak konvensional tidak dapat digunakan dikarenakan titik tengah sering sekali invalid. Hal ini terjadi karena terkadang pada titik pusat objek, kamera mendeteksi jarak ke dinding di belakang granat daripada granat itu sendiri. Oleh karena itu, pendekatan yang peneliti ambil adalah dengan mengambil jarak pada pixel terdekat yang masih berada dalam *Bounding Box* objek yang dideteksi. Pendekatan ini dilakukan dengan harapan setidaknya terdapat sebuah pixel valid dengan nilai yang tidak jauh berbeda dengan jarak aslinya.

Pada Kode Sumber 4. 2, terdapat variabel “closest” yang merupakan nilai pixel dengan jarak terpendek dari kamera. Estela jarak terpendek didapatkan, nilai ini kemudian menjadi nilai jarak pada titik tengah *Bounding Box* menggunakan fungsi `self.camera.deproject_pixel_to_point`. Pendekatan ini dilakukan agar model dapat memproyeksikan jalur lemparan dengan tepat dikarenakan jarak terpendek yang didapat

tidak selalu berada pada titik tengah *Bounding Box*. Setelah jarak terpendek didapatkan, nilai tersebut disimpan dan didapatkan juga *Eucledian Distance* dari kamera ke objek yang akan digunakan untuk penentuan kecepatan serta sudut lemparan.

```
closest = np.min(valid)
depth_m = closest * self.camera.depth_scale

# deproject to 3D
cx, cy = (ax1 + ax2) / 2, (ay1 + ay2) / 2
x_cam, y_cam, z_cam =
self.camera.deproject_pixel_to_point(cx, cy, depth_m)
user_x, user_y, user_z = x_cam, -y_cam, z_cam
distance = math.sqrt(x_cam**2 + y_cam**2 +
z_cam**2)

# update latest coords
shared_state["latest_coords"].update({
    "x": user_x, "y": user_y,
    "z": user_z, "distance": distance
})
detected = True
```

Kode Sumber 4. 2 Implementasi Objek Terdekat

Penentuan kecepatan serta arah lemparan ditentukan pada fungsi *fit_trajectory* pada Kode Sumber 4. 3. Setelah setidaknya 2 gambar granat terdeteksi, kecepatan granat pada setiap sumbu didapatkan menggunakan fungsi *np.polyfit*. Kecepatan vector granat kemudian ditentukan dalam variabel *velocity* dengan persamaan sebagai berikut.

$$|\rightarrow v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1)$$

Koordinat arah lemparan didapatkan pada variabel *direction* dengan persamaan sebagai berikut

$$direction = \left[\frac{v_x}{|\rightarrow v|}, \frac{v_y}{|\rightarrow v|}, \frac{v_z}{|\rightarrow v|} \right] \quad (2)$$

Keterangan :

$\rightarrow v$ = kecepatan dengan vector

V_x = kecepatan pada sumbu x

V_y = kecepatan pada sumbu y

V_z = kecepatan pada sumbu z

Setelah perhitungan berhasil dilakukan, hasil perhitungan tersebut kemudian disimpan dalam bentuk format JSON. Nilai hasil perhitungan akan digunakan kemudian untuk divisualisasikan pada aplikasi simulasi.

```

def fit_trajectory(self):
    """Calculates velocity and angle from the collected detection points."""
    if len(self.detections) < config.MIN_DETECTIONS_FOR_FIT:
        return None

    times = np.array([d['t'] for d in self.detections])
    xs = np.array([d['x'] for d in self.detections])
    ys = np.array([d['y'] for d in self.detections])
    zs = np.array([d['z'] for d in self.detections])

    vx, _ = np.polyfit(times, xs, 1)
    vy, _ = np.polyfit(times, ys, 1)
    vz, _ = np.polyfit(times, zs, 1)

    velocity = math.sqrt(vx**2 + vy**2 + vz**2)
    angle = math.degrees(math.atan2(vy, math.sqrt(vx**2 + vz**2))) # Elevation angle
    direction = [vx/velocity, vy/velocity, vz/velocity] if velocity > 0 else [0,0,0]

    # Ensure all returned values are standard Python types for JSON serialization
    return {
        "velocity": float(velocity),
        "angle": float(angle),
        "direction": [float(d) for d in direction], # Convert each element in the list
        "points": self.detections,
        "frames": self.annotated_frames
    }

```

Kode Sumber 4. 3 Implementasi Perhitungan Kecepatan

4. Implementasi Server API Flask

Pada penelitian ini, *framework* Flask digunakan sebagai *Application Programming Interface (API)* agar model machine learning dapat berkomunikasi dengan aplikasi simulasi. *Framework* Flask memiliki sebuah fitur bernama *route* untuk mengatur alamat yang dijadikan *endpoint* pada website. Alamat yang diatur untuk menjadi *endpoint* adalah */coords*, */launch*, */start*, dan */throwws*

```

@app.route("/coords")
def get_coords():
    coords = shared_state["latest_coords"]
    if coords["distance"] is None:
        return ("", 503)
    return jsonify(coords)

```

Kode Sumber 4. 4 Implementasi Endpoint Coords

Endpoint */coords* pada Kode Sumber 4. 4 berfungsi untuk melakukan pengecekan terhadap nilai koordinat yang diberikan. Apabila nilai koordinat tidak ada (bernilai *None*), maka API akan memberikan pernyataan 503 yang menyatakan server tidak dapat menerima request. Apabila granat telah dilempar dan jarak telah ditentukan, maka API akan mengembalikan nilai jarak tersebut.

```

@app.route("/launch", methods=["GET", "POST"])
def launch_params():
    if request.method == "POST":
        data = request.get_json(force=True)
        vel = data.get("velocity", 0)
        dirj = data.get("direction", {})
        dx = dirj.get("x", 0)
        dy = dirj.get("y", 0)
        dz = dirj.get("z", 0)

        shared_state["last_throw"].update({
            "velocity": float(vel),
            "angle": shared_state["last_throw"]["angle"], # keep old or recalc?
            "direction": [float(dx), float(dy), float(dz)]
        })
        shared_state["detect_enabled"] = False
        return jsonify({"status": "manual_launch_set"}), 200

    lt = shared_state["last_throw"]
    vel = lt.get("velocity")
    direction = lt.get("direction")
    if isinstance(direction, (list, tuple)) and len(direction)==3:
        dx,dy,dz = direction
        dir_payload = {"x":dx, "y":dy, "z":dz}
    else:
        dir_payload = None

    return jsonify({"velocity":vel, "direction":dir_payload})

```

Kode Sumber 4. 5 Implementasi Endpoint Launch

Endpoint `/launch` pada Kode Sumber 4. 5 berfungsi untuk memberikan hasil perhitungan akhir yang telah diolah kepada aplikasi simulasi. Endpoint ini memiliki dua *method* yaitu GET dan POST. *Method* POST digunakan pada pengembangan untuk melakukan simulasi tanpa harus melempar granat berulang kali. Nilai yang dikembalikan seperti “x”, “y”, “z”, “velocity”, dan “direction” akan digunakan pada aplikasi simulasi untuk mensimulasikan lemparan granat.

```

@app.route("/start", methods=["POST"])
def start_detection():
    shared_state["detect_enabled"] = True
    print("Received /start → detection enabled")
    shared_state["last_throw"].update({
        "velocity": 0,
        "angle": 0,
        "direction": [0, 0, 0]
    })
    return jsonify({"status": "detection_started"})

```

Kode Sumber 4. 6 Implementasi Endpoint Start

Endpoint `/start` pada Kode Sumber 4. 6 berfungsi untuk memulai model setelah mendapat input “N” dari aplikasi simulasi. Endpoint ini juga berfungsi untuk melakukan reset terhadap nilai “velocity”, “angle”, dan “direction” apabila API kembali mendapat input “N” dari aplikasi simulasi. Pendekatan ini dilakukan agar aplikasi simulasi tidak

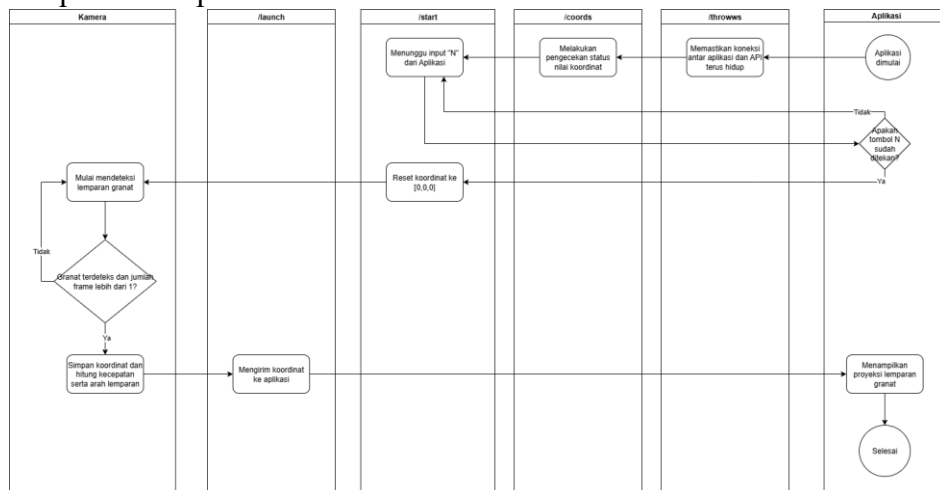
menggunakan nilai pelemparan sebelumnya dan langsung memproyeksikan lemparan granat setelah input “N” diterima. Dengan dilakukannya reset terhadap value tersebut, API akan memberitahu aplikasi simulasi dikarenakan nilai seluruh parameter adalah 0 sehingga aplikasi simulasi akan kembali menunggu sampai nilai tidak lagi 0 sebelum mensimulasikan lemparan.

```
@sock.route('/throwws')
def throw_ws(ws):
    ws_clients.append(ws)
    try:
        while True:
            ws.receive(timeout=10)
    except Exception:
        pass
    finally:
        if ws in ws_clients:
            ws_clients.remove(ws)

def broadcast(message):
    for client in ws_clients[:]:
        try:
            client.send(message)
        except Exception:
            ws_clients.remove(client)
```

Kode Sumber 4.7 Implementasi Endpoint Socket Throwws

Pada API ini juga ditambahkan *socket route* pada *endpoint* /throwws seperti pada Kode Sumber 4.7. *Endpoint* ini memiliki fungsi *throw_ws* yang berfungsi untuk memastikan bahwa koneksi antara API dengan aplikasi simulasi tidak terputus. Terdapat juga fungsi *broadcast* untuk memastikan aplikasi menerima data pada API setiap saat. Secara umum, alur komunikasi *endpoint* pada saat granat dilempar hingga visualisasi lemparan dapat dilihat pada Gambar 4. 21.



Gambar 4. 21 Diagram Alir API

5. Implementasi Simulasi Pelemparan Granat

Simulasi pelemparan granat terdiri dari 3 komponen utama yaitu komponen untuk menerima data dari API, melempar granat, dan meledakkan granat. Simulasi pelemparan granat dilakukan dengan mengolah data berupa koordinat arah lemparan pada sumbu x, y, dan z serta kecepatan lemparan yang telah dideteksi oleh kamera. Simulasi ini dapat dilakukan berulang kali selama kamera masih terhubung dengan komputer.

```
IEnumerator StartAndWait()
{
    isPolling = true;
    var startUrl = serverIp + startPath;
    Debug.Log($"[LaunchParamsClient] POST {startUrl}");
    using (var req = UnityWebRequest.Post(startUrl, new WWWForm()))
    {
        yield return req.SendWebRequest();
        if (req.result != UnityWebRequest.Result.Success)
        {
            isPolling = false;
            yield break;
        }
    }

    // 2) Poll /launch until we get a real velocity
    var launchUrl = serverIp + launchPath;
    Debug.Log($"[LaunchParamsClient] polling {launchUrl} ...");
    while (true)
    {
        using (var req = UnityWebRequest.Get(launchUrl))
        {
            yield return req.SendWebRequest();
            if (req.result == UnityWebRequest.Result.Success)
            {
                var data = JsonUtility.FromJson<LaunchParams>(req.downloadHandler.text);
                if (data.velocity > 0f)
                {
                    // --- convert from camera-space to world-space ---
                    Vector3 camDir = data.direction.normalized;
                    Vector3 worldDir = sourceCamera.transform.TransformDirection(camDir).normalized;

                    // if camera is exactly to the side and still backwards, flip Z:
                    if (worldDir.z < 0f) worldDir.z *= -1f;

                    simulator.SetLaunchParams(data.velocity, worldDir);
                    simulator.LaunchFromParams();
                    uiManager.OnThrowComplete();
                    break;
                }
            }
        }

        yield return new WaitForSeconds(0.1f);
    }

    isPolling = false;
}
```

Kode Sumber 4.8 Implementasi Penerimaan Data dari API

Komponen pertama yaitu komponen yang berfungsi untuk menerima data dari API dapat dilihat pada Kode Sumber 4.8. Komponen ini akan dijalankan apabila pengguna menekan tombol “N” saat menggunakan simulasi. Setelah server aktif mendeteksi, komponen ini akan meminta data hasil perhitungan pada 127.0.0.1/launch. Permintaan ini akan diulangi berkali kali sampai nilai “velocity” lebih dari 0 yang menandakan granat terdeteksi telah dilempar. Pada komponen ini juga terdapat variabel *worldDir*

untuk mengubah koordinat yang diterima oleh kamera menjadi sesuai dengan arah lemparan pengguna.

```
void ThrowGrenade()
{
    Vector3 initialVel = direction * velocity;
    rb.linearVelocity = initialVel;
    // schedule explosion
    Invoke(nameof(Explode), explosionDelay);
}
```

Kode Sumber 4. 9 Implementasi Pelemparan Granat

```
void FixedUpdate()
{
    // 1) Relative velocity to wind
    Vector3 vRel = rb.linearVelocity - windVelocity;
    float speedRel = vRel.magnitude;
    if (speedRel < 1e-4f) return;

    // 2) Drag force: F_d = -½·ρ·C_d·A·|v_rel|²·v_rel
    Vector3 dragForce = -0.5f * airDensity * dragCoefficient * crossSectionalArea
        * speedRel * speedRel * (vRel / speedRel);

    // 3) Magnus lift: F_m = ½·ρ·C_l·A·|v_rel|²·(w×v_rel)
    // spinAxis defines the rotation axis; lift perpendicular to both spin and velocity.
    Vector3 magnusForce = 0.5f * airDensity * liftCoefficient * crossSectionalArea
        * speedRel * speedRel * Vector3.Cross(spinAxis, vRel.normalized);

    // 4) Apply total aerodynamic forces
    rb.AddForce(dragForce + magnusForce, ForceMode.Force);
}
```

Kode Sumber 4. 10 Implementasi Aerodinamika Granat

Komponen kedua yaitu komponen yang digunakan untuk mensimulasikan granat dapat dilihat pada Kode Sumber 4. 9 dan Kode Sumber 4. 10. Pada Kode Sumber 4. 9, fungsi *ThrowGrenade* dipanggil untuk memberikan gaya lemparan awal pada granat dengan memperhitungkan jarak serta kecepatan yang didapatkan. Setelah 4 detik berlalu, Granat akan meledak lewat fungsi *Invoke*.

Saat Granat berada di udara, fungsi *FixedUpdate* pada Kode Sumber 4. 10 akan memberikan berbagai gaya aerodinamika yang mempengaruhi lintasan granat. Gaya pertama yang diberikan adalah pengaruh dari kecepatan angin lewat variabel *vRel* yang dapat memperlambat ataupun mempercepat lemparan granat. Berikutnya terdapat gaya seret (*Drag Force*) yang memperlambat granat dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$F_{drag} = \frac{1}{2} \rho v^2 C_d A \quad (1)$$

Gaya terakhir yang diberikan adalah Gaya Magnus yang menyebabkan granat dapat berputar dan membentuk lintasan yang sedikit melengkung seperti pisang. Gaya Magnus didapatkan menggunakan persamaan berikut:

$$F_{magnus} = \frac{1}{2} \rho v^2 C_L A (\vec{w} \times \vec{v}) \quad (2)$$

Keterangan :

F(drag) = Gaya hambat udara

ρ = Kerapatan udara

v = Kecepatan relatif

C_d = Koefisien Drag

A = Luas penampang

F (magnus) = Gaya Magnus

C_l = Koefisien Lift

$\vec{w}$ = vector sumbu putar granat

Seluruh gaya tersebut akan diberikan pada setiap frame melalui fungsi *rb.AddForce*.


```

public void Explode()
{
    Vector3 origin = transform.position;
    // spawn explosion VFX
    Instantiate(explosionPrefab, transform.position, Quaternion.identity);

    foreach (var rend in GetComponentsInChildren<MeshRenderer>())
        rend.enabled = false;
    // 0) log distances to all tracked barrels
    foreach (var barrelTransform in _barrels)
    {
        float dist = Vector3.Distance(transform.position, barrelTransform.position);
        Debug.Log($"[Explode] Distance to {barrelTransform.name}: {dist:F2} m");
    }
    //Code untuk kekuatan ledakan
    Collider[] hits = Physics.OverlapSphere(origin, _explosionRadius);
    foreach (var hitCol in hits)
    {
        // skip self
        if (hitCol.transform == transform)
            continue;

        Vector3 toTarget = hitCol.bounds.center - origin;
        float dist = toTarget.magnitude;

        // line-of-sight check
        if (Physics.Raycast(origin, toTarget.normalized, out RaycastHit info, dist))
        {
            // if the ray hit something *other* than our intended collider, it's occluded
            if (info.collider != hitCol)
                continue;
        }

        // now safe to apply force
        Rigidbody targetRb = hitCol.GetComponent<Rigidbody>();
        if (targetRb != null)
        {
            targetRb.AddExplosionForce(_explosionForce, origin, _explosionRadius);

            // count barrels only
            if (_barrels.Contains(hitCol.transform))
                barrelCount++;
        }
    }
    if (barrelCount > 0)
    {
        uiManager.SetTargetStatus("Kena");
    }
    else if (barrelCount == 0)
    {
        uiManager.SetTargetStatus("Tidak Kena");
    }
    // 2) play audio
    if (explosionSound != null)
    {
        explosionSound.Play();
        // wait for clip length before destroying
    }
    // clean up
    Invoke(nameof(Respawn), respawnDelay);
}

```

Kode Sumber 4. 11 Implementasi Ledakan Granat

Komponen ketiga yaitu komponen yang digunakan untuk mensimulasikan ledakan granat dapat dilihat pada Kode Sumber 4. 11. Sebuah suara dan animasi ledakan akan

muncul setelah granat meledak. Kemudian, akan dilakukan pengecekan terhadap jarak dari granat ke target melalui variabel *dist* yang mewakili jarak tersebut. Setelah itu, dilakukan pengecekan *Raycast* agar target yang terhalang oleh target lain tidak mendapatkan gaya ledak. Pendekatan ini dilakukan untuk mengakomodasi area latihan APC dimana granat tidak cukup kuat untuk menghancurkan ban yang tidak secara langsung mendapatkan ledakan granat. Apabila terdapat objek yang terkena *Raycast* dan berada pada *dist* dibawah 4 meter (1 meter untuk APC), maka granat dinyatakan mengenai target. Setelah itu, granat akan kembali pada posisi awal setelah 1.5 detik. Keseluruhan Kode Sumber dapat dilihat pada <https://intip.in/CodeThesis>.

4.2.6 Testing

Sistem yang sudah dikembangkan kemudian dilanjutkan dengan uji fungsionalitas serta non-fungsionalitas. Pengujian dilakukan secara *black box* dengan harapan semua kebutuhan fungsional dapat terpenuhi. Hasil pengujian yang diharapkan disajikan pada Tabel 4. 6.

Tabel 4. 6 Output Uji Fungsional

Kode	Kebutuhan fungsional	Output
F001	Memilih area Latihan	Area latihan dapat berubah setelah mendapat input dari pengguna
F002	Mengubah posisi atau kondisi target	Posisi serta kondisi target berubah setelah mendapat input dari pengguna
F003	Kamera mendeteksi granat	Granat terdeteksi apabila muncul pada frame kamera
F004	Simulasi lemparan	Granat disimulasikan pada aplikasi dengan tepat
F005	Granat meledak	Granat dapat meledak 4 detik setelah dilempar

Uji fungsionalitas dilakukan dengan melakukan skenario untuk setiap fungsional. Pada Uji Fungsionalitas F001, skenario diawali dengan pengguna sudah membuka aplikasi simulasi. Setelah pengguna membuka aplikasi, pengguna akan menekan tombol “H” untuk berpindah tempat ke setiap area pelatihan. Skenario ini dilakukan pada setiap area latihan yang disediakan. Hasil pengujian fungsional F001 sudah sesuai dengan output yang diharapkan sehingga dinyatakan berhasil.

Pada Uji Fungsionalitas F002, skenario diawali dengan pengguna sudah berada pada setiap area latihan. Setelah berada pada area latihan, pengguna akan menekan tombol “Y” untuk membuka layar antarmuka. Pada area latihan pertama, pengguna akan memasukkan nilai berupa jarak dan posisi horizontal dan dapat langsung melihat posisi target yang sudah berubah. Pada area latihan kedua, pengguna akan memasukkan nilai berupa kecepatan APC dan setelah layar antarmuka ditutup, APC akan bergerak dengan kecepatan yang telah diubah oleh pengguna. Pada area latihan ketiga, pengguna akan memasukkan nilai berupa lebar serta kedalaman parit. Setelah antarmuka ditutup, parit akan terbentuk sesuai dengan lebar dan kedalaman yang dimasukkan oleh pengguna. Hasil pengujian fungsional F002 sudah sesuai dengan output yang diharapkan dan dinyatakan berhasil.

Pada Uji Fungsionalitas F003, skenario diawali dengan pengguna sudah berada pada area latihan. Setelah berada pada area latihan, pengguna akan menekan tombol “N” untuk meminta kamera agar mendeteksi granat pada *frame* kamera. Kemudian, pengguna akan melempar granatnya dan kamera akan mendeteksi kehadiran granat pada *frame* kamera dalam ROI yang telah ditentukan. Hasil pengujian fungsional F003 sudah sesuai dengan output yang diharapkan dan dinyatakan berhasil.

Pada Uji Fungsionalitas F004, skenario diawali dengan pengguna yang sudah melempar granat setelah menekan tombol “N”. Apabila kamera berhasil mendeteksi setidaknya 2 *frame* pada saat pelemparan terjadi, maka kamera akan mendapatkan data berupa sumbu x,y, dan z granat serta kecepatan dan arah lemparan. Kecepatan dan arah lemparan ini kemudian disampaikan kepada aplikasi simulasi lewat API dan aplikasi mensimulasikan lemparan tersebut. Hasil pengujian fungsional F004 sudah sesuai dengan output yang diharapkan sehingga dinyatakan berhasil.

Pada Uji Fungsionalitas F005, skenario diawali dengan berhasilnya aplikasi dalam mensimulasikan lemparan. Setelah granat terlempar, hitung mundur 4 detik berjalan dan granat akan meledak dalam 4 detik. Hasil pengujian fungsional F005 sudah sesuai dengan output yang diharapkan sehingga dinyatakan berhasil. Rangkuman hasil pengujian fungsional dapat dilihat pada Tabel 4. 7.

Tabel 4. 7 Hasil Uji Fungsional

Kode	Output	Hasil
F001	Area latihan dapat berubah setelah mendapat input dari pengguna	Berhasil
F002	Posisi serta kondisi target berubah setelah mendapat input dari pengguna	Berhasil
F003	Granat terdeteksi apabila muncul pada frame kamera	Berhasil
F004	Granat disimulasikan pada aplikasi dengan tepat	Berhasil
F005	Granat dapat meledak 4 detik setelah dilempar	Berhasil

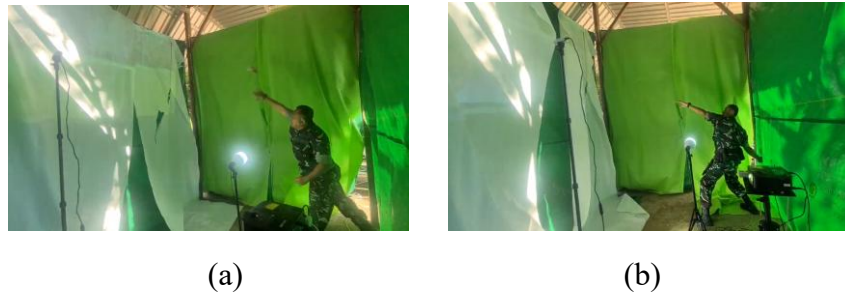
Uji nonfungsionalitas yang telah dirancang fokus pada aspek *usability* dan *performance*. Pengujian *usability* dilakukan dengan melihat umpan balik pengguna pada saat menggunakan simulasi pelatihan. Umpan balik menunjukkan pengguna tidak mengalami kesulitan dalam pelemparan granat namun cukup kesulitan dalam menginisiasi aplikasi dikarenakan masih berbentuk prototip dalam Unity dan Python. Pengujian *performance* dilakukan dengan melihat *Frame per Second* (FPS) aplikasi selama simulasi berlangsung. Hasil FPS pada laptop dengan kartu grafis RTX 3050m menunjukkan bahwa aplikasi dapat tetap stabil berjalan di 60 FPS.

4.2.7 Demonstrasi dan Evaluasi

Demonstrasi dilakukan untuk menguji efektivitas dan realisme dari simulasi pelemparan granat yang telah dikembangkan. Kegiatan ini melibatkan dua instruktur TNI sebagai partisipan dikarenakan memiliki kemampuan observasi yang sangat baik dalam mengawasi latihan militer. Demonstrasi dilakukan di Secaba TNI Jember.

Demonstrasi dilakukan dengan meminta kedua instruktur untuk mencoba alat yang dikembangkan dengan bantuan peneliti sebagai operator seperti pada Gambar 4. 22.

Dikarenakan demonstrasi dilakukan pada siang hari, area latihan dipindah dari tenda yang telah dibangun menjadi pondok istirahat TNI guna mencegah cahaya yang terlalu banyak masuk. Meskipun begitu, area latihan tetap menjadi sangat terang sehingga tampilan layar pada proyektor tidak terlihat dengan jelas. Demonstrasi tetap dilakukan dikarenakan target sasaran (bendera) masih dapat terlihat pada layar proyektor.



Gambar 4. 22 Demonstrasi Alat Simulasi (a) Instruktur 1 (b) Instruktur 2

Setelah pengujian dilakukan, peneliti memberikan sebuah *System Usability Survey* (SUS) dan wawancara terbuka kepada para instruktur. SUS dilakukan untuk mendapatkan nilai kebergunaan simulasi yang telah dikembangkan. Terdapat 10 pertanyaan pada SUS yang memiliki jawaban berupa skala 1-5 menggunakan Skala Likert dengan 1 memiliki makna sangat tidak setuju, 3 memiliki makna netral, dan 5 memiliki makna sangat setuju. Pertanyaan serta hasil dari SUS dapat dilihat pada Tabel 4. 8 atau melalui link <https://intip.in/HasilSUSGranat>.

Tabel 4. 8 Hasil *System Usability Survey*

No.	Pertanyaan	Instruktur 1	Instruktur 2
1	Saya merasa ingin menggunakan simulator pelatihan granat ini secara rutin	5	4
2	Saya merasa simulator ini terlalu rumit untuk digunakan	4	2
3	Saya merasa simulator ini mudah untuk digunakan	5	4
4	Saya merasa membutuhkan bantuan teknis untuk bisa menggunakan simulator ini	5	4
5	Saya merasa fitur-fitur dalam simulator ini terintegrasi dengan baik	5	4
6	Saya merasa simulator ini merepotkan untuk digunakan	1	2
7	Saya merasa percaya diri saat menggunakan simulator pelatihan granat ini	5	4

8	Saya merasa perlu mempelajari banyak hal terlebih dahulu sebelum bisa menggunakan simulator ini	5	4
9	Saya mengalami kebingungan saat menjalankan simulasi pelemparan granat	1	2
10	Simulator ini terasa realistis dan mendukung tujuan pelatihan granat	5	4

Pada pertanyaan pertama, kedua instruktur memiliki pendapat yang mirip bahwa mereka ingin menggunakan alat simulasi yang dikembangkan dengan rutin. Pada pertanyaan kedua, terdapat perbedaan antara kedua instruktur. Instruktur pertama memiliki pendapat bahwa aplikasi simulasi ini terlalu rumit untuk digunakan sedangkan instruktur kedua menilai bahwa simulasi ini tidak terlalu rumit untuk digunakan. Namun, pada pertanyaan ketiga yang memiliki makna pertanyaan yang kurang lebih sama dengan pertanyaan kedua, baik instruktur pertama maupun kedua menilai bahwa alat simulasi yang digunakan mudah untuk digunakan. Setelah dilakukan wawancara lebih lanjut, ditemukan bahwa kerumitan yang dimaksud adalah diperlukannya seorang operator dan ruang latihan yang terlalu spesifik sehingga latihan tetap harus membutuhkan bantuan dari orang lain.

Pada pertanyaan keempat, kedua instruktur berpendapat bahwa mereka tetap membutuhkan bantuan teknis untuk dapat menggunakan alat simulasi yang dikembangkan. Hal ini dikarenakan alat simulasi yang masih bersifat prototip sehingga masih tidak terlalu mudah untuk dinyalakan. Pada pertanyaan kelima, kedua instruktur berpendapat bahwa seluruh fitur yang ada pada alat simulasi ini sudah dapat terintegrasi dengan baik. Pada pertanyaan keenam, kedua instruktur berpendapat bahwa simulator ini tidak merepotkan untuk digunakan. Pada pertanyaan ketujuh, kedua instruktur juga menilai bahwa mereka percaya diri saat menggunakan alat simulasi yang dikembangkan.

Pada pertanyaan kedelapan, kedua instruktur berpendapat bahwa mereka harus mempelajari banyak hal terlebih dahulu sebelum menggunakan alat simulasi. Setelah wawancara lebih lanjut, hal ini disebabkan rancangan alat simulasi yang terbilang baru dan belum terbiasa dalam memakainya. Pada pertanyaan kesembilan, kedua instruktur merasa tidak kebingungan saat menjalankan simulasi dikarenakan proses latihan yang cukup mudah yaitu hanya melempar granat. Pada pertanyaan terakhir, kedua instruktur merasa bahwa alat simulasi ini cukup realistis untuk mendukung pelatihan lempar granat.

Hasil wawancara terbuka menemukan berbagai manfaat serta tantangan yang dirasakan bagi TNI. Sistem pelatihan pelemparan granat dinilai bermanfaat bagi prajurit terutama para siswa Secaba untuk melatih kemampuan lempar granatnya. Pada saat ini, latihan granat hanya dapat mengakomodasi beberapa siswa secara bersamaan untuk melempar granat sedangkan jumlah siswa dalam penerimaan mencapai ratusan hingga ribuan siswa. Alat simulasi ini dinilai dapat dimanfaatkan sebagai *warm-up* bagi para siswa sembari menunggu gilirannya untuk melempar granat yang sesungguhnya.

Tantangan yang dihadapi oleh instruktur terdapat pada ukuran ruangan yang dinilai kurang panjang. Panjang ruangan yang hanya 3 meter kurang cukup untuk mengakomodasi anjang-ancang lempar granat yang membutuhkan panjang ruangan yang lebih dikarenakan posisi tangan yang memanjang ke belakang. Selain itu, hasil lemparan terkadang tidak akurat dikarenakan kurangnya data untuk menghasilkan lemparan yang akurat.

Untuk mengakomodasi kebutuhan berdasarkan evaluasi yang diberikan, maka akan dirancang area latihan baru untuk dikembangkan. Area latihan ini dirancang untuk lebih panjang guna mengakomodasi posisi pelemparan dan bersifat tetap (tidak dapat dipindah). Tata ruangan juga disusun agar pelemparan dapat dilakukan dengan bebas sehingga pelemparan tidak terganggu dengan peralatan lainnya. Area latihan juga bersifat tertutup sehingga cahaya matahari tidak mengganggu tampilan proyektor. Namun, tetap diberikan lampu sorot untuk memberikan cahaya terarah ke granat yang dilempar sehingga lebih mudah dideteksi kamera. Bentuk rancangan area latihan yang bersifat tetap dapat dilihat pada Lampiran.

Agar aplikasi dapat digunakan tanpa operator, maka aplikasi simulasi harus bersifat *.exe* sehingga dapat dibuka tanpa perlu melakukan navigasi pada Unity. Model *machine learning* juga dapat dicompile ke dalam bentuk aplikasi menggunakan *library pyinstaller*. Dengan itu, aplikasi simulasi dapat berjalan dengan membuka aplikasi *machine learning* terlebih dahulu dan kemudian membuka aplikasi simulasi. Tata ruang yang tetap juga memberikan kemudahan bagi pengguna karena tidak perlu menata ruangan beserta alat yang diperlukan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Sistem pelatihan pelemparan granat berbasis *Virtual Reality* telah dikembangkan. Penggunaan *Depth Camera* untuk mendeteksi granat, aplikasi simulasi, cetakan 3D granat, serta area latihan yang kecil menciptakan pengalaman Semi-Immersive *Virtual Reality* yang baik dan juga bermanfaat.

Pengujian fungsional dan non fungsional telah dilakukan untuk memastikan sistem pelatihan berjalan dengan baik. Hasil dari pengujian fungsional menunjukkan bahwa seluruh skenario yang dirancang telah berhasil mendapatkan output yang diharapkan. Pengujian non-fungsional pada aspek *usability* menunjukkan kemudahan dalam aktivitas pelemparan granat pada simulasi pelatihan ini. Pengujian non-fungsional pada aspek *performance*, sistem pelatihan dapat berlangsung dengan baik pada perangkat dengan kartu grafis NVIDIA RTX 3050m.

Sistem pelatihan yang dikembangkan juga berhasil memberikan dampak yang baik di berbagai aspek apabila diterapkan oleh TNI. Sistem pelatihan ini menggunakan lahan latihan yang jauh lebih kecil yaitu 3x3x4 meter dibanding dengan lahan latihan sebenarnya yang setidaknya memiliki radius 100 meter. Dari aspek keselamatan, sistem pelatihan ini tentunya meningkatkan keselamatan dalam penggunaannya dikarenakan tidak adanya peledak yang dilibatkan dalam sistem pelatihan. Terlebih, alat simulasi ini dapat dipakai sebagai *warmup* bagi para Secaba saat pelatihan granat.

Namun, sistem pelatihan ini memiliki kekurangannya tersendiri. Area latihan yang dibangun sangat ringkih dan rentan patah. Pengaplikasian yang masih berupa prototip dan belum berupa aplikasi *standalone* memberikan kesulitan bagi pengguna, terutama yang tidak terlalu familiar dengan antarmuka komputer, untuk memulai sistem pelatihan. Ruangan dengan panjang 3 meter juga dinilai terlalu sempit sehingga kurang memberikan kebebasan dalam melempar. Akurasi lemparan juga terkadang kurang tepat dikarenakan ketidakmampuan kamera untuk mengambil data lemparan dalam jumlah banyak

5.2 Saran

Penelitian yang dilakukan masih dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Area latihan sebaiknya dibangun menggunakan bahan yang lebih kokoh sehingga tidak ringkih dan tahan terhadap hembusan angin. Kemudian, integrasi antara *high-speed camera* dan *depth camera* juga disarankan untuk mendapatkan hasil gambar dan data pelemparan yang lebih akurat. Pada aplikasi simulasi, dapat ditambahkan berbagai cuaca serta kondisi sebagai *preset* sehingga dapat mensimulasikan berbagai kondisi lingkungan. Jenis area latihan serta granat yang digunakan juga dapat dikembangkan dan disesuaikan dengan kebutuhan medan perang yang adaptif.

DAFTAR PUSTAKA

Belanger, H. G., Bowling, F., & Yao, E. F. (2020). Low-Level Blast Exposure in Humans A Systematic Review of Acute and Chronic Effects. *Journal of Special Operations Medicine*, 20(1), 87–93. <https://doi.org/10.55460/3AC6-AX9I>

BoyLestad, R. L., & Nashelsky, L. (2013). *Electronic Devices and Circuit Theory*.

Chan, S., Kim, M., Ahn, N., Chan, S., Kim, M., & Ahn, N. (2020). 3D Printer Scheduling for Shortest Time Production of Weapon Parts. *Procedia Manufacturing*, 39(2019), 439–446. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.451>

Deutsch, J. E., Borbely, M., Filler, J., Huhn, K., & Guarrera-Bowlby, P. (2008). Use of a low-cost, commercially available gaming console (Wii) for rehabilitation of an adolescent with cerebral palsy. *Physical Therapy*, 88(10), 1196–1207. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080062>

DPR RI. (2024). Alokasi TNI AD Terbesar, Pagu Anggaran Indikatif Kemenhan 2025 Capai Rp155 Triliun. EMedia DPR RI.

Elfekey, H., Bastawrous, H. A., & Okamoto, S. (2016). A touch sensing technique using the effects of extremely low frequency fields on the human body. *Sensors (Switzerland)*, 16(12), 1–10. <https://doi.org/10.3390/s16122049>

Faca, I., & Sukmono, R. (2022). Muatan Sektor Pertahanan Untuk Perumusan Peraturan Rencana Tata Ruang. Kementerian Pertahanan.

Gao, W., Zhang, Y., Ramanujan, D., Ramani, K., Chen, Y., Williams, C. B., Wang, C. C. L., Shin, Y. C., Zhang, S., & Zavattieri, P. D. (2015). Computer-Aided Design The status , challenges , and future of additive manufacturing in engineering. *Computer-Aided Design*, 69, 65–89. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2015.04.001>

Guan, J., Wang, L., Huang, Y., & Ma, G. (2025). 3D printed concrete composite slabs fabricated by prestress reinforced permanent formwork : Design , manufacturing , and performance. *Engineering Structures*, 325(December 2024), 119446. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.119446>

Harris, D. J., Arthur, T., Kearse, J., Olonilua, M., Hassan, E. K., Burgh, T. C. De, Wilson, M. R., & Vine, S. J. (2023). Exploring the role of *Virtual Reality* in military decision training. *March*, 1–11. <https://doi.org/10.3389/frvir.2023.1165030>

Hong, J.-C., Chan, H.-Y., Teng, Y.-H., Tai, K.-H., & Lin, C.-Z. (2023). VR training program for fire escape: Learning progress predicted by the perception of fire presence, VR operational frustration, and gameplay self-efficacy. *Computers & Education: X Reality*, 3(June), 100029. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100029>

Intel Realsense. (2024). Intel Realsense *Depth Camera D435i*.

Kadri, M., Boubakri, F., Teo, T., Kaghat, F., Azough, A., & Alaoui, K. (2024). *Virtual Reality* in medical education : Effectiveness of Immersive Virtual Anatomy Laboratory (IVAL) compared to traditional learning approaches ☆. *Displays*, 85(November), 102870. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2024.102870>

Kumar, K., & Liou, B. W. (2016). A cost-effective interactive 3D *Virtual Reality* system applied to military live firing training. *Virtual Reality*. <https://doi.org/10.1007/s10055-016-0284-x>

Lele, A. (2011). *Virtual Reality* and its military utility. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, February. <https://doi.org/10.1007/s12652-011-0052-4>

Menin, A., Torchelsen, R., & Nedel, L. (2022). Computers & Graphics The effects of VR in training simulators : Exploring perception and knowledge gain. *Computers & Graphics*, 102, 402–412. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2021.09.015>

NATO. (2003). RESEARCH AND TECHNOLOGY ORGANISATION *Virtual Reality* : State of Military Research (Vol. 323, Issue February).

Ozer, T., Agir, I., & Henry, C. S. (2022). Talanta Rapid prototyping of ion-selective electrodes using a low-cost 3D printed internet-of-things (IoT) controlled robot. *Talanta*, 247(April), 123544. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2022.123544>

Pemerintah Indonesia. 2014. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2014 Tentang Penataan Wilayah Pertahanan Negara. Jakarta.

Pourjafarian, N., Withana, A., Paradiso, J. A., & Steimle, J. (2019). Multi-touch kit: A do-it-yourself technique for capacitive multi-touch sensing using a commodity microcontroller. *UIST 2019 - Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 1071–1083. <https://doi.org/10.1145/3332165.3347895>

Raspberry Pi. (2024). Pico-series Microcontrollers.

Saredakis, D., Szpak, A., Birkhead, B., Keage, H. A. D., Rizzo, A., & Loetscher, T. (2020). Factors associated with *Virtual Reality* sickness in head-mounted displays: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00096>

Serious Simulations. (2024). Sim Grenade For Live Training.

Setyadi, A. (2018). 2 Siswa Secaba TNI Terkena Ledakan di Area latihan Lempar Granat. *DetikNews*.

Siahaan, R., & Samopa, F. (2024). Rancang Bangun Sistem Pelatihan Pelemparan Granat Berbasis *Virtual Reality*.

SindoNews. (2021). 2 Prajurit TNI Terluka Akibat Ledakan Granat saat Latihan di Malino.

U.S. Department of the Army. (2000). FM 3-23.30 Grenades and Pyrotechnic Signals. 3, 160.

Wang, X., Yang, X., Guo, H., Wang, K., Wang, J., Ji, A., Huang, M., Bai, J., & Cam, C. A. D. (2024). Clinical application of CAD / CAM technology in 3D printed dental model used for removable splints fabrication in the treatment of traumatized anterior permanent teeth in children. 151(October).

Wei, L., Zhou, H., & Nahavandi, S. (2018). Haptically enabled simulation system for firearm shooting training. *Virtual Reality*, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0349-0>

Xie, B., Liu, H., Alghofaili, R., Zhang, Y., Jiang, Y., Lobo, F. D., Li, C., Li, W., Huang, H., Akdere, M., Mousas, C., & Yu, L. F. (2021). A Review on *Virtual Reality* Skill Training Applications. In *Frontiers in Virtual Reality* (Vol. 2). <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.645153>

Xu, H., Xu, J., & Xu, W. (2019). Survey of 3D modeling using *Depth Cameras*. 1(5), 483–499. <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2019.09.003>

Yampolskiy, M., Skjellum, A., Kretschmar, M., Overfelt, R. A., Sloan, K. R., & Yasinsac, A. (2016). Using 3D printers as weapons. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 14, 58–71. <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2015.12.004>

Zen Technologies. (2024). Hand Grenade Simulator (HE36S®).

LAMPIRAN

1. Demonstrasi Pelemparan Granat



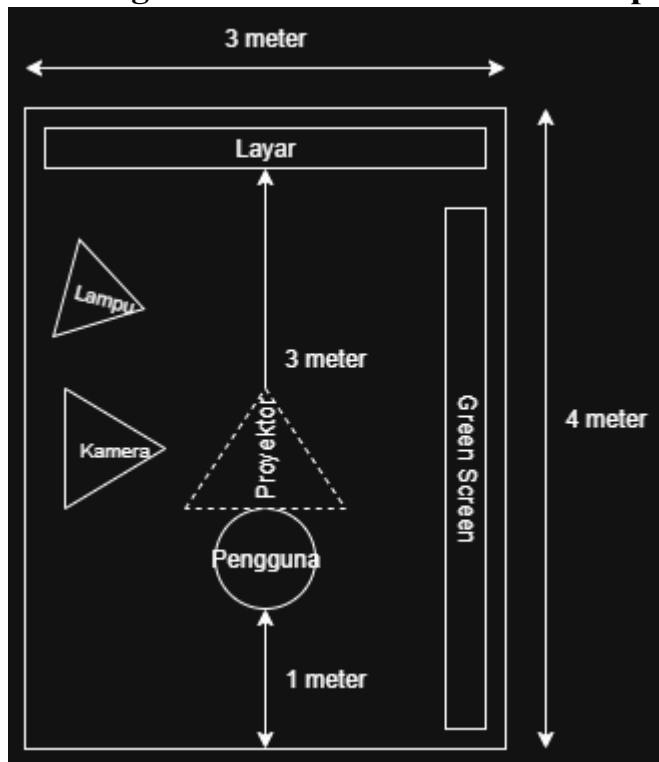
2. Contoh Hasil Tangkapan Kamera



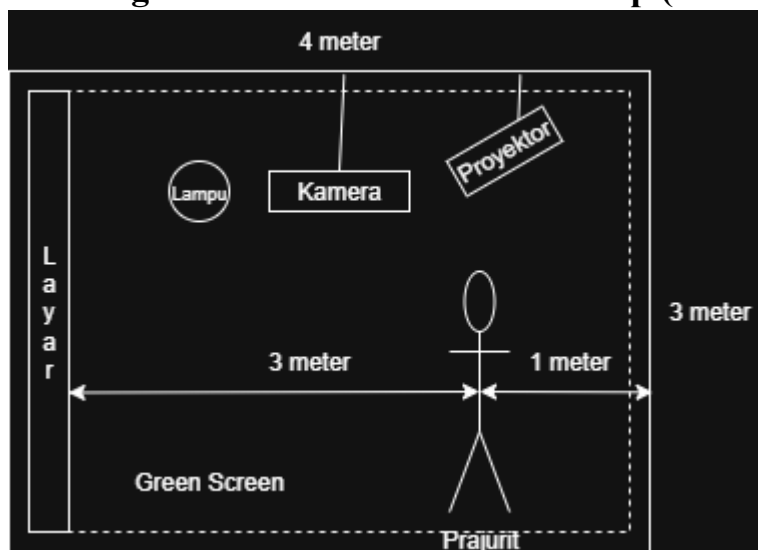
3. Contoh Hasil Perhitungan Kecepatan

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	frame_idx	x	y	z	t	velocity	angle	direction_x	direction_y	direction_z
2	0	1.0248961448669434	0.17811158299446106	2.694000244140625	0.0					
3	1	0.7056959271430969	0.3708743751049042	2.633000135421753	0.04747629165649414					
4	2	-0.0783410370349884	0.7558607459068298	2.4250001907348633	0.09521842002868652					
5	summary					13.38568983431773	26.964007802702373	-0.8659170476197972	0.4534306956307378	-0.21115934954730087

4. Rancangan Area Latihan Bersifat Tetap (Top-View)



5. Rancangan Area Latihan Bersifat Tetap (Side-View)



BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak pertama dari 4 bersaudara di Medan. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Angela Jakarta, SD Santo Yoseph 1 Medan, SMP Santo Yoseph 1 Medan dan SMA Sutomo 1 Medan. Setelah lulus dari SMA Sutomo 1 tahun 2020, Penulis mengikuti SBMPTN dan diterima di Departemen Sistem Informasi ITS pada tahun 2020. Pada semester 7, penulis mengikuti program Fast-Track S2 Sistem Informasi ITS dan mengambil studi S2 sambil menjalani 2 semester akhir studi S1.

Selama perkuliahan di Departemen Sistem Informasi, Penulis sempat aktif di Himpunan Mahasiswa sebagai Vice Head pada Himpunan Mahasiswa Sistem Informasi Kabinet SPASI. Penulis juga aktif sebagai Asisten Dosen pada mata kuliah Desain Manajemen Jaringan Komputer serta Topik dalam Tatakelola Keamanan Informasi. Penulis memiliki fokus penelitian di bidang simulasi, militer, pengembangan game, serta *Machine Learning*.