

*OPTIMASI HAND LANDMARK PADA HAND TRACKING  
MENGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK  
SEBAGAI AUGMENTED REALITY GAME CONTROLLER*

Diajukan Sebagai Syarat Untuk Menyelesaikan  
Pendidikan Program Srata-1 Pada  
Jurusan Teknik Informatika



Oleh :

Tegar Cahya Bayu Siregar  
NIM : 09021282025051

**Jurusan Teknik Informatika**  
**FAKULTAS ILMU KOMPUTER UNIVERSITAS SRIWIJAYA**  
**2024**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

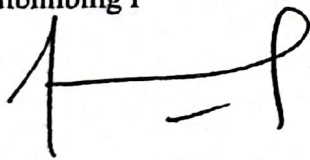
### OPTIMASI *HAND LANDMARK* PADA *HAND TRACKING* MENGUNAKAN *CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK* SEBAGAI *AUGMENTED REALITY GAME CONTROLLER*

Oleh :

Tegar Cahya Bayu Siregar  
NIM : 09021282025051

Palembang,

Pembimbing I



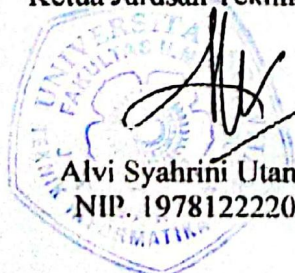
Dr. Muhammad Fachrurrozi, S.Si., M.T.  
NIP. 198005222008121002

Pembimbing II



Anggina Primanta, M.T., Ph.D.  
NIP. 198908062015042002

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Informatika,



Alvi Syahrini Utami, M.Kom.  
NIP. 197812222006042003

## TANDA LULUS UJIAN KOMPREHENSIF SKRIPSI

Pada hari Jumat tanggal 10 November 20 telah dilaksanakan ujian komprehensif skripsi oleh Jurusan Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.

Nama : Legar Cahya Bayu Siregar  
NIM : 09021282025051  
Judul : Optimasi Hand Landmark Pada Hand Tracking Menggunakan Convolutional Neural Network Sebagai Augmented Reality Game Controller

Dan dinyatakan LULUS

1. Ketua Penguji

Alvi Syahrini Utami, M.Kom.  
NIP. 197812222006042003



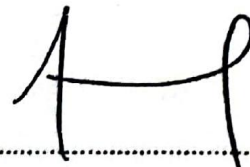
2. Penguji I

Samsuryadi, M.Kom., Ph.D.  
NIP. 197102041997021003



3. Pembimbing I

Dr. Muhammad Fachrurrozi, S.Si., M.T.  
NIP. 198005222008121002



4. Pembimbing II

Angelina Primanita, M.IT., Ph.D.  
NIP. 198908062015042002



Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Informatika.



Alvi Syahrini Utami, M.Kom.  
NIP. 197812222006042003

## HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Tegar Cahya Bayu Siregar  
NIM : 09021282025051  
Judul : Optimasi Hand Landmark Pada Hand Tracking Menggunakan Convolutional Neural Network Sebagai Augmented Reality Game Controller

Hasil Pengecekan *Software* Turnitin : 4%

Menyatakan bahwa laporan skripsi saya merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam laporan skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tidak ada paksaan oleh siapapun.

Palembang, 27 Oktober 2023



Tegar Cahya Bayu Siregar  
NIM. 09021282025051

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

“Santai Tapi Jangan Lalai, Aktif Tapi Jangan Eksesif”

Kupersembahkan karya tulis ini kepada:

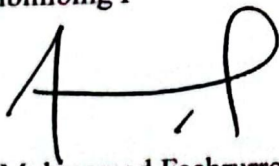
- Allah SWT & Nabi Muhammad SAW
- Kedua Orang Tua dan Keluarga Saya
- Teman Seperjuangan dan Sahabat

## ABSTRACT

*This study focuses on creating a flexible and lightweight solution of hand landmark prediction using Convolutional Neural Network. Beyond replicating high-end VR/AR headsets' hand tracking capabilities, the motivation extends to promoting gamer's physical activity using augmented reality experiences. By using the hand landmark prediction as game controller for in-game actions, that encourages gamers to move their bodies, fostering a healthier and more active gaming experience. To achieve that, this study explores 3 configuration set of keypoint 11, 17, and 21 for maximizing the accuracy and speed in hand tracking. In addition, the methodology involves building an affordable and lightweight architecture based on U-Net. U-Net structure adapted to use Hourglass Network Block with depthwise convolutional layers and embedded pre and post processing layer. From the experiment, the model got 0.061 Mean Per Joint Position Error@128px and 14 to 16 dynamic frame rate score in 21 keypoint with low hardware i3 gen 7 CPU paired with MX130 GPU laptop.*

**Keywords :** *Keypoint Prediction, Augmented Reality, Convolutional Neural Network (CNN), U-Net*

Pembimbing I



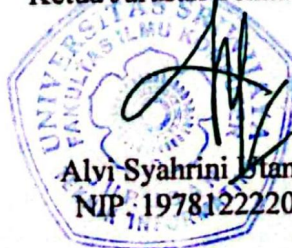
Dr. Muhammad Fachrurrozi, S.Si., M.T.  
NIP. 198005222008121002

Pembimbing II



Anggina Primanita, M.IT., Ph.D.  
NIP. 198908062015042002

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Informatika,



Aly Syahrini Istami, M.Kom.  
NIP. 197812222006042003

## ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada mengembangkan program *hand landmark prediction* menggunakan *convolutional neural network* yang fleksibel serta ringan digunakan dengan mereplikasi fitur canggih *VR/AR headset*. Selain dari itu, program diharapkan bisa meningkatkan aktifitas fisik pemain dengan bantuan *AR* disertai dengan *hand landmark prediction* sebagai *game controoler*. Hal tersebut mengharuskan pemain untuk menggerakkan tubuhnya serta meningkatkan pengalaman bermain. Untuk hal itu, penelitian ini mencari konfigurasi terbaik dari 11, 17, dan 21 *keypoint set* untuk mencari keseimbangan antara akurasi dan kecepatan. Selain itu, U-Net arsitektur juga dimodifikasi menggunakan *Hourglass Network Block* dengan *depthwise convolutional layer* dan *embedded pre dan post processing layer*. Hasil eksperimen menunjukkan skor **0.061 untuk Mean Per Joint Position Error@128px** dan **14 - 16 FPS** pada konfigurasi 21 *keypoint* menggunakan *hardware* i3 Gen 7 CPU disertai dengan MX130 laptop GPU.

**Keywords :** *Keypoint Prediction, Augmented Reality, Convolutional Neural Network (CNN), U-Net*

Pembimbing I



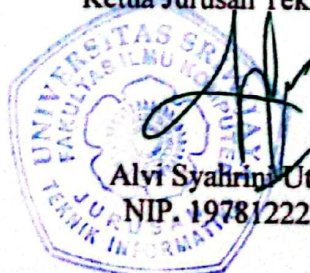
Dr. Muhammad Fachrurrozi, S.Si., M.T.  
NIP. 198005222008121002

Pembimbing II



Anggina Primanita, M.Ti, Ph.D.  
NIP. 198908062015042002

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Informatika,



Alvi Syahrin Utami, M.Kom.  
NIP. 197812222006042003

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahrabbi'l'alamin, segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, karena atas berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Optimasi *Hand Landmark* Pada *Hand Tracking* Menggunakan *Convolutional Neural Network* Sebagai *Augmented Reality Game Controller*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan tingkat sarjana pada Jurusan Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu pada berbagai aspek dalam proses penyusunan skripsi ini, pihak tersebut antara lain:

1. Kedua orang tua saya beserta keluarga yang telah memberikan semangat dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Ibu Alvi Syahrini Utami, M.Kom. selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika Universitas Sriwijaya dan ketua penguji ujian komprehensif.
3. Bapak Dr. Muhammad Fachrurrozi, M.T. selaku dosen pembimbing I dan Ibu Angina Primanita, M.IT., Ph.D. selaku pembimbing II yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam proses perkuliahan dan pengerjaan skripsi.
4. Bapak Samsuryadi, M.Kom., Ph.D. selaku penguji I pada sidang ujian komprehensif.
5. Zona Anggraini dan Dini Andriani yang telah membantu penulisan bahasa pada pembuatan skripsi ini.
6. Teman-teman seperjuangan.



## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....	i
TANDA LULUS UJIAN KOMPREHENSIF SKRIPSI .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT .....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vi
ABSTRAK .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR ALGORITMA .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvi
BAB I PENDAHULUAN .....	I-1
1.1 Pendahuluan .....	I-1
1.2 Latar Belakang Masalah .....	I-1
1.3 Rumusan Masalah .....	I-3
1.4 Tujuan Penelitian .....	I-3
1.5 Manfaat Penelitian .....	I-3
1.6 Batasan Masalah .....	I-4
1.7 Sistematika Penulisan .....	I-4
1.8 Kesimpulan .....	I-5
BAB II KAJIAN LITERATUR .....	II-1
2.1 Pendahuluan .....	II-1
2.2 Landasan Teori .....	II-1
2.2.1 Object Detection .....	II-1
2.2.2 Hand Landmark Detection .....	II-1
2.2.3 Model Architecture .....	II-2

2.2.4 Model Evaluation Matrices .....	II-4
2.2.5 Object Tracking .....	II-7
2.2.6 Hand Tracking .....	II-7
2.2.7 GDLC .....	II-7
2.2.8 Augmented Reality (AR) .....	II-9
2.3 Penelitian lain yang relevan .....	II-9
2.4 Kesimpulan .....	II-11
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>III-1</b>
3.1 Pendahuluan .....	III-1
3.2 Pengumpulan Data .....	III-1
3.2.1 Jenis dan Sumber Data .....	III-1
3.2.2 Metode Pengumpulan Data .....	III-2
3.3 Tahapan Penelitian .....	III-2
3.3.1 Mengumpulkan Data .....	III-3
3.3.2 Menentukan Kerangka Kerja Penelitian .....	III-3
3.3.3 Menentukan Kriteria Pengujian .....	III-6
3.3.4 Menentukan Format Data Pengujian .....	III-7
3.3.5 Menentukan Alat Bantu Penelitian .....	III-9
3.3.6 Menentukan Pengujian Penelitian .....	III-10
3.3.7 Melakukan Analisis Dan Menarik Kesimpulan .....	III-11
3.3.8 Mengembangkan Perangkat Lunak .....	III-11
3.4 Metode Pengembangan Perangkat Lunak .....	III-11
3.4.1 <i>Initialization</i> .....	III-12
3.4.2 <i>Pre-Production</i> .....	III-12
3.4.3 <i>Production</i> .....	III-12
3.4.4 <i>Testing</i> .....	III-13
3.4.5 <i>Release</i> .....	III-13
3.5 Manajemen Proyek Penelitian .....	III-13
3.6 Kesimpulan .....	III-15
<b>BAB IV PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK .....</b>	<b>IV-1</b>
4.1 Pendahuluan .....	IV-15

4.2 <i>Initialization</i> (Analisis Kebutuhan) .....	IV-15
4.2.1 Deskripsi Singkat Game .....	IV-1
4.2.2 Pitch dan Premis .....	IV-1
4.2.3 Tujuan Akhir Game .....	IV-2
4.2.4 Fitur Hand Tracking .....	IV-2
4.3 Pre-Production (Perancangan) .....	IV-3
4.3.1 Spesifikasi Game .....	IV-3
4.3.2 Mekanik Game .....	IV-4
4.3.3 Screen Flow .....	IV-5
4.3.4 Level Design .....	IV-8
4.3.5 Kontrol Game .....	IV-8
4.3.6 Game Arsitektur .....	IV-8
4.3.7 Class Diagram .....	IV-8
4.4 Production (Implementasi) .....	IV-10
4.4.1 Implementasi Model .....	IV-10
4.4.2 Implementasi <i>Image Target</i> .....	IV-11
4.4.3 Implementasi Arsitektur Server - Client .....	IV-11
4.4.4 Rancangan Percobaan .....	IV-11
4.5 Testing .....	IV-12
4.6 Release .....	IV-12
4.6.1 Android .....	IV-12
4.6.2 Windows .....	IV-13
4.7 Kesimpulan .....	IV-13
<b>BAB V HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN</b> .....	<b>V-1</b>
5.1 Pendahuluan .....	V-1
5.2 Data Hasil Penelitian .....	V-1
5.2.1 Konfigurasi Percobaan .....	V-1
5.2.2 Rancangan Optimasi .....	V-10
5.2.3 Hasil Optimasi .....	V-13
5.3 Analisis Hasil Sebelum dan Sesudah Optimasi .....	V-15
5.3.1 Analisis Hasil Sebelum Optimasi .....	V-15

5.3.2 Analisis Hasil Sesudah Optimasi .....	V-17
5.4 Kesimpulan .....	V-17
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>VI-1</b>
6.1 Kesimpulan .....	VI-1
6.2 Saran .....	VI-2
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xvii</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>xx</b>

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel II- 1. <i>Multi Class Confusion Matrix</i> .....	II-6
Tabel III- 1. Dataset.....	III-1
Tabel III- 2. class untuk <i>training hand recognition model</i> .....	III-2
Tabel III- 3. Format dataset untuk <i>training hand recognition model</i> .....	III-2
Tabel III- 4. Kriteria Pengujian.....	III-6
Tabel III- 5. Format pengujian akurasi MPJPE.....	III-7
Tabel III- 6. Format pengujian kecepatan eksekusi dalam FPS.....	III-8
Tabel III- 7. Format pengujian hand sign recognition.....	III-8
Tabel III- 8. Format tabel analisis.....	III-11
Tabel III- 9. Managemen waktu proyek penelitian.....	III-14
Tabel IV- 1. Rancangan Interface Main Menu.....	IV-6
Tabel IV- 2. Tabel Rancangan <i>Interface Option</i> .....	IV-6
Tabel IV- 3. Tabel Rancangan <i>Interface Gameplay</i> .....	IV-7
Tabel IV- 4. Rancangan Percobaan.....	IV-11
Tabel IV- 5. Rancangan Testing.....	IV-12
Tabel V- 1. Perbandingan Akurasi Setiap Keypoint.....	V-2
Tabel V- 2. Perbandingan frame rate dan Layer Model 21 Keypoint.....	V-5
Tabel V- 3. Perbandingan frame rate Setiap Konfigurasi Model Reguler.....	V-7
Tabel V- 4. Perbandingan Performa Pose Command Setiap Konfigurasi.....	V-8
Tabel V- 5. Perbandingan Reguler dan Optimized.....	V-12
Tabel V- 6. Performa Model Terbaik Hasil Optimasi.....	V-12
Tabel V- 7. Hasil Prediksi Model Setelah Optimasi.....	V-15

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar II- 1. 21 <i>hand landmark</i> pada tangan manusia .....	II-2
Gambar II- 2. Arsitektur U-Net .....	II-4
Gambar II- 3. Game Development Life Cycle .....	II-8
Gambar III- 1. Tahapan penelitian .....	III-3
Gambar III- 2. Kerangka kerja pembuatan model tahap training .....	III-4
Gambar III- 3. Kerangka kerja pembuatan model tahap testing .....	III-5
Gambar III- 4. Modifikasi GDLC .....	III-12
Gambar IV- 1. Pengubahan Model Menjadi Ekstensi Onnx .....	IV-2
Gambar IV- 2. Kelas Diagram Pelatihan Model .....	IV-3
Gambar IV- 3. Diagram Mekanik <i>Scan and Interact</i> .....	IV-4
Gambar IV- 4. Screenflow Game .....	IV-5
Gambar IV- 5. Arsitektur Game Server-Client .....	IV-9
Gambar IV- 6. Class Diagram Game Dengan Arsitektur Server-Client .....	IV-10
Gambar V- 1. MPJPE Setiap Keypoint .....	V-2
Gambar V- 2. Perbandingan Error Setiap Model .....	V-2
Gambar V- 3. Pengaruh Neuron Terhadap MPJPE .....	V-5
Gambar V- 4. Perbandingan Kecepatan Pemrosesan Layer .....	V-6
Gambar V- 5. Grafik Perbandingan Average frame rate Setiap Model .....	V-7
Gambar V- 6. Rancangan dan Perbandingan Pipeline dan Arsitektur Optimasi .....	V-11
Gambar V- 7. Perbandingan Reguler dan Optimized .....	V-13

## DAFTAR ALGORITMA

### Halaman

Algoritma II - 1. implementasi Conv2D pada PyTorch.....	II - 3
Algoritma II - 2. implementasi Relu pada PyTorch.....	II - 3
Algoritma II - 3. implementasi BatchNorm pada PyTorch.....	II - 3

## DAFTAR LAMPIRAN

### Halaman

Lampiran 1.....	xx
Lampiran 2.....	xx



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Pendahuluan**

Pada bab ini akan membahas tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, sistematika penulisan, dan kesimpulan.

#### **1.2 Latar Belakang Masalah**

Bermain video game sudah menjadi hal lazim pada saat ini. Beberapa kasus negatif bermain video *game* dapat menyebabkan sebuah kelainan yang bernama *Gaming Disorder* (GD). Data survei dari J.Clement menunjukkan bahwa seseorang dapat menghabiskan hingga 12 jam bermain video game (Clement, 2021). Bagi orang yang mengalami hal ini dan menjalani pola hidup yang kurang sehat akan mulai menunjukkan degradasi kesehatannya. Kerugian yang disebabkan dari perilaku tersebut meliputi menurunnya nilai akademik, kurang tidur, perilaku agresif dan masalah kesehatan fisik (Chang et al, 2022). Masalah kesehatan fisik yang dapat terjadi meliputi halusinasi pendengaran, *enuresis*, *encoprisis* dan *hand-arm vibration syndrome* yang akan terus memburuk jika terlambat ditangani (Weinstein, 2010). Hal tersebut merupakan dampak dari pecandu *game* yang hanya duduk di depan layar dan bermain video *game* tanpa menggerakkan anggota tubuh mereka. *Game* yang dikendalikan dengan gerakan tubuh merupakan solusi dari masalah-masalah yang diterima pecandu *game* yang malas. Salah satu cara yang bisa digunakan adalah menambahkan fitur *Landmark*

*Detector* (LD) pada *Hand Tracking* (HT) di game *Augmented Reality* (AR). LD sering digunakan untuk mendeteksi *interest point* dari suatu objek. Metode tersebut digunakan dengan memanfaatkan fitur yang ada pada objek. Namun, tidak seperti wajah yang mempunyai fitur yang tinggi seperti daerah mata dan mulut. Tangan mempunyai fitur yang sangat sedikit. Hal ini meningkatkan kesulitan dalam mendeteksi 21 *landmark* yang ada (Zhang et al, 2020). Variasi fitur yang ada pada 21 *hand landmark* dapat meningkatkan kompleksitas model dan memengaruhi beban komputasi terhadap pendeteksian *hand landmark*. Beban komputasi yang tinggi dapat memengaruhi *Frame Rate per Second* (FPS) dari *Augmented Reality* (AR)

Solusi dari permasalahan di atas dengan membangun model prediksi *landmark* dengan *hand landmark* yang telah direduksi. Jumlah dari *hand landmark* yang direduksi berdasarkan pada fungsionalitas yang dihasilkan. Landasan fungsionalitas tersebut ialah *mouse* dan *pose command*. *Mouse* berfungsi sebagai pengganti *pointer* dan *pose command* sebagai *input* perintah.

Metode sebelumnya yaitu menggunakan *auxiliary multi-task training strategy* (Chinananda et al., 2019). Metode ini memanfaatkan *auxiliary multi-task training strategy* yang digunakan untuk menekan penggunaan parameter model sehingga model mempunyai sedikit parameter. Metode ini menghasilkan akurasi yang sebanding dengan MobileNetV2 dengan parameter hanya 2% saja. Metode ini juga berjalan pada kecepatan 50Hz dengan MFLOPs kurang dari 35s. Kekurangan dari model ini adalah percobaan dilakukan pada spesifikasi *device* yang cukup tinggi. Myriad 2 memiliki spesifikasi yaitu komputasi 1000 GFLOPs

dimana itu tidak sebanding dengan *smarthphone midrange* dengan harga 3 - 4 juta.

Peneliti melakukan percobaan reduksi *hand landmark* terhadap *hand tracking* dengan *mouse* dan *pose-command functionalities* sebagai *baseline* model. Hipotesis awal dari penelitian ini yaitu metode reduksi *hand landmark* dapat meningkatkan FPS.

### 1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jumlah *hand landmark* terhadap kompleksitas arsitektur dari model *Convolutional Neural Network Landmark Detector* ?
2. Seberapa besar pengaruh jumlah *hand landmark* terhadap kinerja *pose-command* ?

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh jumlah *hand landmark* terhadap kompleksitas arsitekturs dari model *Convolutional Neural Network Landmark Detector*.
2. Mengukur jumlah *hand landmark* yang optimum terhadap kinerja *pose-command*.
3. Mengembangkan *software game* yang memanfaatkan fitur *hand tracking*.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menjadi pilihan baru sebagai *game controller*.
2. Dapat digunakan sebagai rujukan dalam penelitian berikutnya.

### **1.6 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hanya untuk 1 orang pemain.
2. Hanya mendeteksi 1 tangan dalam satu waktu.

### **1.7 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### **BAB I. PENDAHULUAN**

Pada bab ini membahas tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan batasan masalah.

#### **BAB II. KAJIAN LITERATUR**

Pada bab ini membahas tentang landasan teori yang digunakan dalam penelitian yang diantaranya adalah *Object Detection*, *Keypoint Detection*, *2D Hand Pose Estimation*, *Hand Tracking*, dan penelitian yang relevan

#### **BAB III. Metodologi Penelitian**

Pada bab ini membahas tentang pengumpulan data, metode yang digunakan dalam mengumpulkan data dan kerangka kerja penelitian yang dibahas secara rinci.

#### **BAB IV. PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK**

Pada bab ini membahas tahapan untuk pengembangan *game* pada Unity

menggunakan metode GDLC. Serta mengintegrasikan *Hand Landmark Detection* pada game tersebut.

## BAB V. HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

Pada bab ini menganalisis hasil dari penelitian berdasarkan format pengujian.

## BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini merupakan kesimpulan dari hasil penelitian serta saran yang bisa dijadikan sebagai sumber referensi selanjutnya

### **1.8 Kesimpulan**

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat disimpulkan dalam penelitian ini mengembangkan sebuah teknik yang dapat meningkatkan performa HR dan perangkat lunak untuk bermain video *game* menggunakan teknologi AR dengan fitur HR.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chang, C.-H., Chang, Y.-C., Yang, L., & Tzang, R.-F. (2022). The Comparative Efficacy of Treatments for Children and Young Adults with Internet Addiction/Internet Gaming Disorder: An Updated Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 2612. <https://doi.org/10.3390/ijerph19052612>
- Chernytska, O. (2019). *3D Hand Pose Estimation from Single RGB Camera*.
- Crisnapati, P. N., Setiawan, M., Wikranta Arsa, I. G. N., Devi Novayanti, P., Wibawa, M. S., & Oka Ciptahadi, K. G. (2019). Real-Time Hand Palm Detection and Tracking Augmented Reality Game Using Lucas Kanade Optical Flow Combined with Color Blob Detection. *2019 1st International Conference on Cybernetics and Intelligent System (ICORIS)*, 263–268. <https://doi.org/10.1109/ICORIS.2019.8874892>
- Fenneteau, A., Bourdon, P., Helbert, D., Fernandez-Maloigne, C., Habas, C., & Guillevin, R. (2021). Investigating efficient CNN architecture for multiple sclerosis lesion segmentation. *Journal of Medical Imaging*, 8(01). <https://doi.org/10.1117/1.JMI.8.1.014504>
- Garbin, C., Zhu, X., & Marques, O. (2020). Dropout vs. batch normalization: An empirical study of their impact to deep learning. *Multimedia Tools and Applications*, 79(19–20), 12777–12815. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08453-9>
- Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., Andreetto, M., & Adam, H. (n.d.). *MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications*.
- Ioffe, S., & Szegedy, C. (n.d.). *Batch Normalization: Accelerating Deep Network Training by Reducing Internal Covariate Shift*.
- Markoulidakis, I., Rallis, I., Georgoulas, I., Kopsiaftis, G., Doulamis, A., & Doulamis, N. (2021). Multiclass Confusion Matrix Reduction Method and Its Application on Net Promoter Score Classification Problem. *Technologies*, 9(4), 81. <https://doi.org/10.3390/technologies9040081>
- Müller, L.-R., Petersen, J., Yamlahi, A., Wise, P., Adler, T. J., Seitel, A., Kowalewski, K.-F., Müller, B., Kenngott, H., Nickel, F., & Maier-Hein, L. (2022). Robust hand tracking for surgical telestration. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 17(8), 1477–1486. <https://doi.org/10.1007/s11548-022-02637-9>

- Olimov, B., Karshiev, S., Jang, E., Din, S., Paul, A., & Kim, J. (2021). Weight initialization based-rectified linear unit activation function to improve the performance of a convolutional neural network model. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 33(22). <https://doi.org/10.1002/cpe.6143>
- Rahmawati, N. D., Buchori, A., & Wibisono, A. (2022). Effectiveness of VAR (Virtual Augmented Reality)-Based Educational Games in Trigonometry Learning in University: 2nd International Conference on Education and Technology (ICETECH 2021), Madiun, Indonesia. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.220103.039>
- Ramadan, R., & Widyani, Y. (2013). Game development life cycle guidelines. *2013 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACISIS)*, 95–100. <https://doi.org/10.1109/ICACISIS.2013.6761558>
- Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). *U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation* (arXiv:1505.04597). arXiv. <http://arxiv.org/abs/1505.04597>
- Sarki, R., Ahmed, K., Wang, H., Zhang, Y., & Wang, K. (2018). Convolutional Neural Network for Multi-class Classification of Diabetic Eye Disease. *ICST Transactions on Scalable Information Systems*, 172436. <https://doi.org/10.4108/eai.16-12-2021.172436>
- Siddique, N., Paheding, S., Elkin, C. P., & Devabhaktuni, V. (2021). U-Net and Its Variants for Medical Image Segmentation: A Review of Theory and Applications. *IEEE Access*, 9, 82031–82057. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3086020>
- Soleimanitaleb, Z., Keyvanrad, M. A., & Jafari, A. (2019). Object Tracking Methods:A Review. 2019 9th International Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCCKE), 282–288. <https://doi.org/10.1109/ICCCKE48569.2019.8964761>
- Voigt-Antons, J.-N., Kojić, T., Ali, D., & Möller, S. (2020). *Influence of Hand Tracking as a way of Interaction in Virtual Reality on User Experience* (arXiv:2004.12642). arXiv. <http://arxiv.org/abs/2004.12642>
- Weinstein, A. M. (2010). Computer and Video Game Addiction—A Comparison between Game Users and Non-Game Users. *The American Journal of Drug and Alcohol Abuse*, 36(5), 268–276. <https://doi.org/10.3109/00952990.2010.491879>

Yang, S., He, D., Li, Q., Wang, J., & Li, D. (2023). Hand pose estimation based on improved NSRM network. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2023(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s13634-023-00970-y>

Zhang, F., Bazarevsky, V., Vakunov, A., Tkachenka, A., Sung, G., Chang, C.-L., & Grundmann, M. (2020). *MediaPipe Hands: On-device Real-time Hand Tracking* (arXiv:2006.10214). arXiv.