

**RANCANG BANGUN ROBOT *HUMANOID* PENYAMBUT TAMU
BERBASIS *IMAGE PROCESSING*
DENGAN ESP32-CAM**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Sains



Oleh:

Fauzan Bin Eylidarson

NIM. 21034054/2021

**PROGRAM STUDI FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2025**

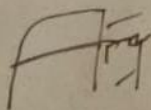
PERSETUJUAN SKRIPSI

RANCANG BANGUN ROBOT *HUMANOID* PENYAMBUT TAMU
BERBASIS *IMAGE PROCESSING*
DENGAN ESP32-CAM

Nama : Fauzan Bin Eylidarson
NIM : 21034054/2021
Program Studi : Fisika (S1)
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

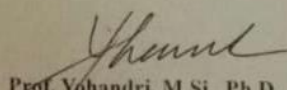
Padang, 14 November 2025

Mengetahui :
Kepala Departemen Fisika



Prof. Dr. Asrizal, M.Si
NIP. 197302042001121002

Disetujui oleh :
Dosen Pembimbing



Prof. Yohandri, M.Si., Ph.D
NIP. 197807252006041003

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Fauzan Bin Eylidarson
NIM : 21034054/2021
Program Studi : Fisika (S1)
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**RANCANG BANGUN ROBOT *HUMANOID* PENYAMBUT TAMU
BERBASIS *IMAGE PROCESSING*
DENGAN ESP32-CAM**

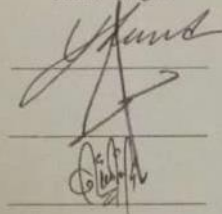
Dinyatakan lulus setelah mempertahankan skripsi ini di depan Tim Penguji
Skripsi Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 4 November 2025

Tim Penguji

	Nama
Ketua	: Prof. Yohandri, M.Si., Ph.D.
Anggota	: Prof. Dr. Yulkifli, S.Pd., M.Si.
Anggota	: Dr. Mona Berlian Sari, M.Si.

Tanda Tangan



SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fauzan Bin Eylidarson
NIM/TM : 21034054/2021
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi saya dengan judul: "*Rancang Bangun Robot Humanoid Penyambut Tamu Berbasis Image Processing dengan ESP32-CAM*" adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di Institusi UNP maupun dimasyarakat dan hukum Negara.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Padang, 18 November 2025
Mahasiswa



Fauzan Bin Eylidarson
NIM. 21034054

Rancang Bangun Robot *Humanoid* Penyambut Tamu Berbasis *Image Processing* dengan ESP32-CAM

Fauzan Bin Eylidarson

ABSTRAK

Perkembangan teknologi robotika layanan di era modern menghadirkan peluang besar dalam peningkatan efisiensi dan konsistensi pelayanan publik. Namun, penerapan robot *humanoid* penyambut tamu masih menghadapi kendala *integrasi* sistem antara sensor *visual*, *aktuator* gerak, dan sistem *audio* dalam satu *platform* yang ringkas dan ekonomis. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun robot *humanoid* penyambut tamu berbasis *image processing* dengan ESP32-CAM, yang mampu mendeteksi kehadiran tamu secara *visual*, merespons dengan lambaian tangan, serta memberikan ucapan sambutan otomatis.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode rekayasa (*engineering*), mencakup tahapan studi literatur, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, pembuatan prototipe, pengujian kinerja sistem, dan analisis hasil. Sistem dirancang menggunakan ESP32-CAM sebagai unit deteksi wajah dan prosesor utama, ESP32 sebagai pengendali sistem, servo EMAX ES08MA II sebagai *aktuator* gerak tangan, serta modul *DFPlayer Mini* dan speaker sebagai sistem *audio*. Catu daya utama berasal dari *power supply* 12 V yang diturunkan menjadi 5 V melalui *step-down converter* untuk menjaga kestabilan arus dan tegangan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi wajah manusia dengan tingkat keberhasilan 100% pada jarak 30–90 cm, dan mengalami penurunan akurasi di atas 90 cm. Waktu respons dari deteksi hingga eksekusi aksi rata-rata 1,21 detik, menunjukkan performa yang cepat dan stabil. Pengujian terhadap pengaruh intensitas cahaya menunjukkan bahwa waktu deteksi rata-rata meningkat dari 1,96 detik pada 38 *lux* menjadi 3,04 detik pada 580 *lux*, dengan performa optimal pada kisaran 100–300 *lux*. Sistem *audio* bekerja sinkron dengan gerakan servo tanpa jeda atau kesalahan komunikasi. Sistem ini layak diterapkan sebagai robot penyambut tamu interaktif pada lingkungan publik atau institusional.

Kata kunci: Robot *humanoid*, ESP32-CAM, *DFPlayer Mini*, *Face Detection*, *Image Processing*.

Design and Development of a Humanoid Reception Robot Based on Image Processing Using ESP32-CAM.

Fauzan Bin Eylidarson

ABSTRACT

The advancement of service robotics technology in the modern era offers great potential to enhance efficiency and consistency in public services. One of its applications is a humanoid receptionist robot designed to greet and assist visitors automatically. However, implementing such systems still faces challenges in integrating visual sensors, motion actuators, and audio systems into a compact and cost-effective platform. This research aims to design and develop a humanoid receptionist robot based on image processing using the ESP32-CAM, capable of detecting guest presence visually, waving its hand, and delivering an automatic greeting.

The research employed an engineering methodology consisting of literature study, hardware and software design, prototype fabrication, system performance testing, and result analysis. The system was developed using the ESP32-CAM as the main facial detection and processing unit, the ESP32 microcontroller as the main controller, six EMAX ES08MA II servo motors as arm actuators, and a DFPlayer Mini module with a speaker as the audio system. The entire system was powered by a 12 V source regulated to 5 V using a step-down converter to ensure current and voltage stability during operation.

Experimental results show that the system achieved 100% face detection accuracy at distances between 30–90 cm, with accuracy decreasing beyond 90 cm due to sensor limitations. The average response time from face detection to action execution was 1.21 seconds, indicating fast and stable performance. Tests on lighting intensity revealed that detection time increased from 1.96 seconds at 38 lux to 3.04 seconds at 580 lux, with an optimal range of 100–300 lux. The audio and servo systems operated synchronously without delay or communication errors. These findings indicate that the proposed humanoid receptionist robot is practical, responsive, and suitable for public or institutional environments requiring automated visual and auditory interaction.

Keywords: *Humanoid robot, ESP32-CAM, DFPlayer Mini, Face Detection, Image Processing.*

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur atas berkat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, Shalawat dan Salam marilah kita do'akan kepada Allah agar senantiasa dicurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW. Sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Robot Humanoid Penyambut Tamu Berbasis *Image Processing* dengan ESP32-CAM”. Pembuatan skripsi ini merupakan salah satu persyaratan dalam memperoleh gelar Sarjana Sains pada program studi Fisika, Universitas Negeri Padang.

Penyelesaian Skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak sehingga dapat diselesaikan dengan segala hambatan dan rintangan yang dihadapi, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Yohandri, M.Si, Ph.D sebagai pembimbing atas segala bantuannya yang tulus dan ikhlas memberi bimbingan, arahan, dan saran dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si sebagai dosen penguji skripsi yang telah meluangkan waktu untuk memberikan masukan, kritikan dan pandangan kepada peneliti untuk menyempurnakan skripsi dan sebagai Dekan FMIPA UNP.
3. Ibu Dr. Mona Berlian Sari, S.Si, M.Si sebagai dosen penguji skripsi yang telah meluangkan waktu untuk memberikan masukan, kritikan dan pandangan kepada peneliti untuk menyempurnakan skripsi ini.

4. Bapak Dr. Hamdi, M.Si sebagai pembimbing akademik yang telah memberikan masukan serta bimbingan akademik selama perkuliahan menuju penulisan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Harman Amir, S.Si, M.Si selaku Koordinator Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
6. Bapak/Ibu staf pengajar, karyawan, dan laboratorium prodi Fisika FMIPA UNP.
7. Keluarga tercinta, khususnya kedua orang tua tercinta yang selalu sabar membimbing, mendoakan, dan memberikan motivasi.
8. Rekan-rekan mahasiswa prodi Fisika FMIPA UNP yang telah membantu berjuang hingga akhir.

Terimakasih kepada seluruh pihak yang telah berjasa dalam penyelesaian skripsi ini. semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah diberikan. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan kelemahan. Untuk itu, penulis mengharapkan saran dalam penyempurnakan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah.....	5
C. Rumusan Masalah	6
D. Batasan Masalah.....	6
E. Tujuan Penelitian.....	7
F. Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
A. Robot <i>Humanoid</i>	9
B. ESP32	12
C. Servo EMAX ES08MA II.....	14
D. ESP32-CAM	17
E. <i>DFPlayer</i> Mini	19
F. PCA9685	22
G. HRI.....	24
H. Intensitas Cahaya	26
I. <i>Power Supply</i>	28
BAB III METODE PENELITIAN.....	31
A. Jenis Penelitian.....	31
B. Data dan Variabel Penelitian	31
C. Prosedur Penelitian.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
A. Hasil Penelitian	45

B. Pembahasan.....	52
BAB V PENUTUP.....	58
A. Kesimpulan.....	58
B. Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....	60
LAMPIRAN.....	64

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spesifikasi ESP32	13
Tabel 2. Spesifikasi EMAX ES08MA II	15
Tabel 3. Spesifikasi teknis ESP32-CAM	18
Tabel 4. Spesifikasi teknis <i>DFPlayer Mini</i>	20
Tabel 5. Spesifikasi dari modul PCA9685	22
Tabel 6. Spesifikasi umum dari modul <i>buck-boost</i>	29
Tabel 7. Waktu Respon Sistem Robot setelah Mendeteksi Wajah	49
Tabel 8. Hasil Uji Respon Servo dan <i>Audio</i> pada Deteksi Wajah	49
Tabel 9. Uji Hasil <i>Face Detection</i> terhadap Variasi Jarak, Intensitas Cahaya dan Waktu Deteksi.....	50
Tabel 10. Hasil Uji Keberhasilan Deteksi Wajah pada Berbagai Jarak	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Board ESP32-DevKitC V4.....	12
Gambar 2. servo EMAX ES08MA II.....	15
Gambar 3. Tampilan ESP32-CAM.....	17
Gambar 4. Tampilan <i>DFPlayer Mini</i>	20
Gambar 5. Tampilan PCA9585	22
Gambar 6. Tampilan <i>Power Supply</i>	28
Gambar 7. Tampilan Konverter <i>buck-boost</i>	29
Gambar 8. Diagram alir penelitian.....	33
Gambar 9. Diagram blok sistem.....	36
Gambar 10 Desain mekanik robot.....	37
Gambar 11 Sistem elektronik.....	38
Gambar 12. <i>Flowchart</i> program.....	39
Gambar 13. Hasil Desain Mekanik Robot	46
Gambar 14. Hasil Desain Elektrikal Robot.....	47
Gambar15. Grafik Hubungan antara Jarak dan Waktu Deteksi pada Variasi Intensitas Cahaya	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Doukmentasi Pengukuran pada Intensitas Cahaya 30 -141 <i>lux</i>	64
Lampiran 2. Dokumentasi Pengambilan Data ke Berbagai Wajah	65
Lampiran 3. Tampilan saat Wajah Terdeteksi	66
Lampiran 4. Program Robot.....	67

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi robotika dan *Artificial Intelligence* (AI) membuka peluang baru dalam beberapa tahun terakhir. Kemajuan ini membuka peluang baru untuk penerapan sistem otomatis yang dapat mengambil alih fungsi manusia di berbagai bidang layanan. Data dari *International Federation of Robotics* 2023 mencatat pertumbuhan pesat instalasi robot layanan profesional secara global, dengan sektor *hospitality* dan logistik sebagai pendorong utama adopsi teknologi robotika. Peningkatan ini didorong oleh kebutuhan efisiensi layanan dan tantangan demografis di sektor perhotelan serta pelayanan publik. Salah satu penerapan yang semakin menarik perhatian adalah robot *humanoid*, yaitu robot yang dirancang menyerupai manusia dan berfungsi untuk berinteraksi sosial di lingkungan publik seperti kantor, hotel, ruang informasi, atau pusat perbelanjaan (yuslan, 2024)

Di Indonesia, dalam konteks pelayanan publik, efisiensi dan konsistensi menjadi aspek penting yang perlu ditingkatkan. Sering kali, masyarakat mengeluhkan masalah inkonsistensi dalam pelayanan. Tugas penyambutan tamu dan merespons kehadiran pengunjung dapat menyebabkan kejenuhan dan penurunan kualitas layanan jika dilakukan oleh manusia. Robot penyambut tamu hadir sebagai solusi karena mampu bekerja tanpa henti dengan minim kesalahan serta memberikan citra modern dan ramah teknologi bagi institusi (Putro & Litouw, 2017). Hal ini sejalan dengan temuan (Rahman et al., 2022) yang menunjukkan bahwa tingkat penerimaan masyarakat terhadap robot meningkat signifikan selama pandemi COVID-19, terutama sebagai agen pembatas jarak fisik yang dinilai

mampu mengurangi risiko penularan dan menjaga keberlangsungan operasional layanan.

Menurut laporan *International Federation of Robotics* 2023, salah satu tren utama yang mendorong adopsi robot layanan adalah kekurangan tenaga kerja di banyak negara maju. Laporan tersebut menyatakan bahwa lompatan produktivitas diperlukan untuk mengatasi kekurangan pekerja terampil dan masalah demografi yang sedang berlangsung. Khusus untuk robot yang beroperasi di dalam ruangan sehari-hari, laporan ini juga menekankan pentingnya kemudahan penggunaan dan keramahan bagi *staf non-teknis* untuk meningkatkan penerimaan terhadap teknologi robotik. Implementasi robot *humanoid* sebagai penyambut tamu masih menghadapi sejumlah keterbatasan teknis dan fungsional. Banyak sistem yang dikembangkan dalam penelitian sebelumnya hanya mengandalkan sensor sederhana seperti PIR (*Passive Infrared*) atau DTMF (*Dual-Tone Multi-Frequency*) untuk mendeteksi keberadaan manusia atau menerima instruksi.

Pendekatan ini membuat sistem tidak adaptif, karena tidak mampu mengenali identitas pengunjung secara *visual* (Yuslan, 2024). Selain itu, banyak sistem yang dibangun memisahkan unit kamera, pengendali utama, dan komponen *output*, sehingga meningkatkan kompleksitas dan biaya integrasi. Beberapa penelitian telah berupaya mengatasi tantangan pengembangan robot interaktif dengan memanfaatkan modul ESP32-CAM, yaitu perangkat mikrokontroler dengan kamera OV2640 beresolusi 2 MP yang terintegrasi dengan konektivitas Wi-Fi, menawarkan solusi yang hemat daya dan ekonomis. Adi dan Wahyu (2022) menunjukkan bahwa ESP32-CAM memiliki kecepatan deteksi wajah yang optimal pada resolusi QVGA

(320×240 piksel) dengan waktu respon 19 ms dan frame rate 52,6 fps, serta pada resolusi CIF (400×296 piksel) dengan waktu respon 40 ms dan frame rate 25 fps. Kedua resolusi ini dinilai paling kompatibel untuk aplikasi *face detection* dan *image processing* pada sistem berbasis IoT karena keseimbangan antara kecepatan pemrosesan dan kualitas citra. Perangkat ini juga dapat bekerja secara mandiri tanpa komputer eksternal, menjadikannya ideal untuk sistem tertanam. Penelitian yang dilakukan oleh Anwarman 2024 menerapkan ESP32-CAM untuk pelacakan objek pada robot mobile berbasis 4WD. Meskipun mampu mengikuti objek secara *visual*, sistem tersebut tidak dilengkapi dengan fitur respon mekanis atau suara, serta tidak secara spesifik mengenali wajah manusia. Penelitian lain oleh Nurdiansyah 2023 menunjukkan ESP32-CAM dapat digunakan untuk deteksi objek *real-time* dan pengendalian robot sederhana berbasis Android.

Prutha 2023 mengembangkan robot pengawas berbasis ESP32-CAM, namun lebih difokuskan pada pengawasan keamanan dan tidak mendukung komunikasi sosial atau interaksi manusia. Lebih lanjut, Khadafi 2024 membangun sistem deteksi wajah tamu menggunakan ESP32-CAM dan Telegram *Bot*. Sistem ini mampu mengidentifikasi tamu dan mengirim notifikasi *digital* secara otomatis, namun tidak melibatkan gerakan mekanik maupun sambutan suara. Adapun Abu-Jassar 2025 merancang sistem visi canggih pada robot *humanoid* kecil, tetapi dengan pendekatan yang kompleks dan tidak fokus pada sistem interaksi sederhana dan efisien di lingkungan publik. Dari sejumlah penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa sebagian besar sistem berbasis ESP32-CAM masih terbatas pada satu atau dua aspek, seperti deteksi *visual* atau gerak saja. Integrasi ketiga

aspek, *visual*, gerakan servo dan sambutan suara dalam satu sistem berbasis ESP32-CAM belum pernah dilakukan secara komprehensif dalam penelitian sebelumnya.

Penelitian ini hadir untuk menjawab celah tersebut dengan merancang robot *humanoid* bagian atas tubuh yang dapat menyambut tamu secara otomatis melalui deteksi wajah *real-time*, gerakan lambaian tangan, dan sambutan verbal. Sistem ini dirancang dengan mempertimbangkan efisiensi energi, kemudahan implementasi, serta relevansi tinggi untuk digunakan di lingkungan kantor, ruang publik, atau institusi layanan. Dengan demikian, integrasi ini tidak hanya menjadi kontribusi akademis, tetapi juga memiliki implikasi praktis dalam meningkatkan kualitas layanan dan citra modern lembaga yang mengadopsinya. Laporan *International Federation of Robotics 2023* juga menekankan pentingnya pengembangan sistem visi mesin dan interaksi multimodal yang mendukung fleksibilitas dan respon cepat dalam lingkungan layanan. Oleh karena itu, solusi yang diusulkan dalam penelitian ini adalah membangun robot *humanoid* statis bagian atas tubuh (dari dada ke atas) yang mengintegrasikan *face detection real-time* berbasis ESP32-CAM, gerakan tangan menggunakan servo EMAX ES08MA II, dan sambutan verbal melalui *DFPlayer Mini*.

Sistem robot *humanoid* dirancang dalam satu *platform* ringkas yang mampu menghadirkan interaksi sosial dasar antara robot dan manusia secara praktis dan responsif tanpa bergantung pada pemrosesan eksternal yang kompleks. Inovasi pada penelitian ini terletak pada integrasi kompak dari ketiga sistem (*visual*, gerak, dan *audio*) dalam satu kesatuan. Sistem ini dirancang untuk bekerja secara *real-time* dengan latensi rendah dan konsumsi daya yang efisien. Dari perspektif

keilmuan, proyek ini merupakan penerapan teori dan teknologi dari konsep-konsep Fisika Instrumentasi, fisika optik (pada sistem pencitraan), mekanika rotasi (pada penggerak servo), dan gelombang elektromagnetik (pada transmisi sinyal *Wi-Fi*). Selain itu, penelitian ini juga menerapkan prinsip-prinsip interaksi manusia–mesin untuk mengoptimalkan pengalaman pengguna.

Robot *humanoid* penyambut tamu ini diharapkan dapat diimplementasikan di berbagai ruang publik, institusi layanan, dan kantor di Indonesia untuk meningkatkan efisiensi pelayanan, mengurangi beban kerja repetitif pada *staf*, serta menghadirkan nuansa pelayanan yang modern dan ramah teknologi. Sesuai dengan prediksi dalam laporan *International Federation of Robotics 2023*, "robot layanan berkolaborasi dengan *staf* manusia" akan menjadi tren yang semakin berkembang, dengan "perangkat lunak dan kasus penggunaan yang mendorong aplikasi terobosan". Untuk itu peneliti telah melakukan penelitian dengan judul "*Rancang Bangun Robot humanoid Penyambut Tamu Berbasis Image processing dengan ESP32-CAM*", diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan robot *humanoid* yang terjangkau namun fungsional untuk konteks pelayanan publik di Indonesia.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan, dapat diidentifikasi permasalahan yang menjadi latar belakang dilakukannya penelitian ini:

1. Sistem robot *humanoid* yang telah dikembangkan pada penelitian sebelumnya umumnya bersifat kompleks, besar, dan tidak efisien untuk diterapkan di ruang layanan skala kecil, seperti ruang tunggu atau area publik terbatas.

2. Sebagian besar implementasi sistem berbasis ESP32-CAM hanya berfokus pada satu fungsi seperti pelacakan atau deteksi objek, tanpa mengintegrasikan *image processing* dengan gerakan fisik dan suara secara simultan.
3. Belum tersedia sistem yang menggabungkan *face detection*, gerakan sosial (lambaian tangan), dan *output* suara dalam satu rangkaian fungsional yang ringkas, portabel, dan berbiaya rendah, terutama untuk kebutuhan interaksi sosial dasar dalam pelayanan publik.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana desain Rancang Bangun Robot *Humanoid* Penyambut Tamu Berbasis *Image Processing* dengan ESP32-CAM?
2. Bagaimana performa Rancang Bangun Robot *Humanoid* Penyambut Tamu Berbasis *Image Processing* dengan ESP32-CAM?

D. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini diperlukan batasan masalah agar penelitian lebih terfokus. Oleh karena itu, batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Robot *humanoid* yang dikembangkan hanya mencakup bagian atas tubuh (kepala dan tangan), tanpa sistem kaki atau kemampuan navigasi.
2. Sistem pengenalan *face detection* menggunakan ESP32-CAM hanya difungsikan untuk mendeteksi keberadaan *face detection* secara *real-time*, tidak menyimpan data maupun melakukan identifikasi personal.
3. Pengujian dilakukan pada jarak deteksi optimal antara 30–100 cm.

4. Respon robot terbatas pada dua *output* utama: gerakan lambaian tangan dengan servo EMAX ES08MA II dan suara sambutan melalui *DFPlayer Mini*.

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Menentukan spesifikasi desain Rancang Bangun Robot *Humanoid* Penyambut Tamu Berbasis *Image Processing* dengan ESP32-CAM.
2. Menentukan performa Rancang Bangun Robot *Humanoid* Penyambut Tamu Berbasis *Image Processing* dengan ESP32-CAM.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi peneliti, penelitian ini merupakan salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan program studi S1 Fisika, serta menjadi media pengembangan diri dalam penerapan konsep-konsep Fisika Instrumentasi dan Elektronika secara praktis melalui perancangan sistem robotik berbasis *image processing*.
2. Bagi peneliti lain, hasil dari penelitian ini dapat menjadi referensi untuk mengembangkan sistem interaksi manusia-robot berbasis ESP32-CAM dan servo motor, khususnya dalam bidang layanan publik atau edukasi.
3. Bagi masyarakat, penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif sistem penyambutan tamu yang bersifat otomatis, hemat biaya, dan ramah teknologi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi pelayanan serta memperkenalkan teknologi robotika secara lebih luas.
4. Bagi pembaca, penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan dan pengetahuan mengenai penerapan prinsip-prinsip fisika seperti optik,

mekanika rotasi, dan sistem kontrol elektronik dalam pembuatan robot *humanoid* sederhana.

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, analisis, dan pembahasan terhadap sistem robot *humanoid* penyambut tamu berbasis ESP32-CAM, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Spesifikasi desain robot *humanoid* penyambut tamu berhasil direalisasikan dengan struktur mekanik dimensi lebar 691,45 mm dan tinggi 334 mm berbahan akrilik 3 mm dan PLA *Plus* yang ringan namun kokoh. Sistem pengendali menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai unit utama yang terintegrasi dengan ESP32-CAM untuk deteksi wajah, *DFPlayer Mini* untuk *output audio*, dan PCA9685 sebagai driver servo EMAX ES08MA II yang menggerakkan enam servo pada kedua lengan. Arsitektur elektrik menerapkan komunikasi serial UART dan I2C dengan *latency* di bawah 50 ms, menghasilkan sinkronisasi efisien antar-modul. Rangkaian disuplai tegangan 12V yang diturunkan menjadi 5V melalui *step-down converter* dengan efisiensi 85-90%, menghasilkan sistem yang stabil dan hemat energi dengan konsumsi 1,2 A saat aktif dan 0,4 A saat *idle*.
2. Performa sistem menunjukkan tingkat keberhasilan deteksi wajah mencapai 100% pada jarak 30-90 cm dengan waktu respon rata-rata 1,21 detik yang mencakup deteksi visual, pergerakan servo, dan *output audio* yang sinkron sempurna (reliabilitas 100% pada 10 subjek tanpa *desynchronization*). Sistem gagal mendeteksi wajah pada jarak di atas 90 cm akibat ukuran proyeksi wajah di bawah *threshold minimum* algoritma Haar Cascade. Pengujian pencahayaan

menunjukkan performa optimal pada intensitas 100-300 lux dengan waktu deteksi stabil 1,5-2,5 detik, sedangkan pencahayaan di bawah 10 lux atau di atas 800 lux menyebabkan kegagalan deteksi akibat *insufficient light* dan *overexposure*. Hasil pengujian membuktikan sistem mampu beroperasi secara konsisten dan responsif pada kondisi indoor standar dengan pencahayaan memadai.

B. Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan agar sistem diuji dalam periode operasi yang lebih panjang untuk menilai kestabilan jangka panjang dan keausan mekanik servo. Penggunaan kamera dengan kualitas lebih tinggi seperti *webcam* HD atau modul Raspberry Pi Camera dapat meningkatkan akurasi dan kecepatan deteksi, terutama pada kondisi pencahayaan ekstrem. Peningkatan performa sistem juga dapat dilakukan dengan mengganti mikrokontroler ESP32 menjadi Raspberry Pi agar memungkinkan implementasi algoritma *machine learning* seperti MobileNet atau MTCNN untuk *face recognition* yang lebih adaptif dan personal. Selain itu, penambahan fitur interaksi lanjutan seperti pengucapan informasi, sistem identifikasi personal, dan integrasi dengan jaringan IoT atau database tamu dapat menjadikan robot tidak hanya sekadar penyambut, tetapi juga asisten informasi interaktif. Penelitian lanjutan juga perlu mencakup uji *multi-subjek*, lingkungan dinamis, dan kondisi outdoor semi-terkontrol untuk memperluas kemampuan sistem terhadap situasi nyata yang lebih kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 9(1), 29–43.
- Adafruit PCA9685 16-Channel Servo Driver Created by Bill Earl. (2024).
- Adi, P. D. P., & Wahyu, Y. (2022). Performance evaluation of ESP32 Camera Face Recognition for various projects. *Journal Internet of Things and Artificial Intelligence*, 2(1), 10–21.
- AI-Thinker. (2017). ESP32-Cam Module. *AI-Thinker Technology*, 1–4.
- Anwarman Hulu, F., Christmass Setyawan, G., & Juri Damai Lase, K. (2024). Implementasi Sistem Pengenalan dan Pelancakan Objek pada Mobile Robot 4WD Berbasis ESP32-CAM Untuk Navigasi dalam Ruang 2D.
- Chignoli, M., Kim, D., Stanger-Jones, E., & Kim, S. (2021). The MIT humanoid robot: Design, motion planning, and control for acrobatic behaviors. *arXiv preprint arXiv:2104.09025*.
- Dwi Risdhayanti, A., Murtono, A., Wahono, W. T., & Al Ghaly, M. A. J. (2023). Kunci pintu otomatis menggunakan ESP32-CAM. Polinema.
- Esser, J., Kumar, S., Peters, H., Bargsten, V., Fernandez, J. de G., Mastalli, C., Stasse, O., & Kirchner, F. (2021). Design, analysis and control of the series–parallel hybrid RH5 humanoid robot. *arXiv preprint arXiv:2101.10591*.
- Espressif Systems. (2020). ESP32 Series. Esp32, 1–65.
- Gaikwad, J. (2023). Smart Surveillance Rover: Real-Time Monitoring with ESP32-CAM and Pan-Tilt Servo Motor Integration. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11(12), 425–430.
- Hasan, M., & Muda, N. R. S. (2025). Rancang bangun robot humanoid MH313 berbasis Arduino untuk patroli dan deteksi ancaman. *Jurnal Nasional Teknologi dan Inovasi*, 1(1), 541–553.
- Hidayat, S. S., Aprilia, D., Hadwi, S., Mujahidin, I., Prabowo, M. C. A., & Rakhman, F. A. (2025). Child Presence Detection for Child Safety with Deep Neural Networks. *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, 10(2), 370–381.

- Ismail, H. N., Yulkifli, Rio Anshari, & Dani Harmanto. (2024). A Pid Control System Using Ziegler-Nichols Method on Wheeled Soccer Robot Movement System. *Jurnal Research on Instrumentation Technology*, (Vol. 1, Issue 1).
- International Federation of Robotics. (2023). World Robotics Report 2023: Service Robots.
- Judijanto. Loso, Guntur, A. W., Karimuddin, Samsuddin, H., Patahuddin, A., Anggraeni, F. A., Raharjo, & Simorangkir, F. M. A. (2024). *Research Design: Pendekatan Kualitatif dan Kuantitatif*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia
- Julham, Hutagalung, S. S. T., Simalango, K. C., & Lumbantobing, S. (2023). The Effectiveness of OpenCV Based Face Detection In Low-Light Environments. *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering*, 7(1), 209–220.
- Khadafi, M., Pardede, A. M. H., & Sembiring, H. (2024). Design of a guest face detection tool using ESP32-CAM based on Internet of Things (IoT). *Journal of Artificial Intelligence and Engineering Applications*, 4(1), 125–130.
- Kiilavuori, H., Peltola, M. J., Sariola, V., & Hietanen, J. K. (2022). Being watched by a humanoid robot and a human: Effects on affect-related psychophysiological responses. *Biological Psychology*, 175.
- Krisna Utama, W., Rukmana, A. M., & Fauzy Ikhsan, A. M. Perancangan Sistem Pengenal Wajah dengan Menggunakan ESP32 Berbasis Database Webserver. *Jurnal FUSE-Teknik Elektro*. 2(1).
- Lalitha, S., Karthik, K. P., Gupta, T. S., Abhishek, M. V., & Sreekar, A. J. (2025). AI-Driven Attendance Tracking with Haar Cascade and ResNet. *Procedia Computer Science*, 258, 3544–3553.
- Leung, A. Y. M., Zhao, I. Y., Lin, S., & Lau, T. K. (2023). Exploring the Presence of Humanoid Social Robots at Home and Capturing Human-Robot Interactions with Older Adults: Experiences from Four Case Studies. *Healthcare (Switzerland)*, 11(1).
- Leung, A. Y. M., et al. (2023). Exploring the presence of Humanoid social robots at home and capturing human-robot interactions with older adults. *Frontiers in Robotics and AI*, 10, 1193487.

- Li, X., Xu, W., Ye, Z., & Yuan, H. (2025). Humanoid Dexterous Hands from Structure to Gesture Semantics for Enhanced Human-Robot Interaction: A Review. *Biomimetic Intelligence and Robotics*, 100258
- Mara, M., Stein, J. P., Latoschik, M. E., Lugin, B., Schreiner, C., Hostettler, R., & Appel, M. (2021). User Responses to a Humanoid Robot Observed in Real Life, Virtual Reality, 3D and 2D. *Frontiers in Psychology*, 12.
- Muhammad, N., Ariyanto, E., & Yudo, Y. A. S. (2023). Improved Face Detection Accuracy Using Haar Cascade Classifier Method And Esp32-CAM For Iot-Based Home Door Security. *JUPI (Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Pembelajaran Informatika)*, 8(1), 154–161.
- Nurdiansyah, D., Satrianansyah, & Sobri, A. (2023). Smart robot object detection menggunakan ESP32-CAM. *Jurnal Tekinkom*, 6(1), 35–42.
- PICAKE. (2020). Module Application Instruction. *Module Application Instruction*, 1–12.
- Prutha G, B Pavan, Punith N, & Bharath K Gowda. (2024). Surveillance Auto Humanoid Bot. *International Research Journal on Advanced Engineering Hub (IRJAEH)*, 2(09), 2326–2330.
- Putro, M. D., & Litouw, J. (2017). Robot pintar penyambut costumer pada pusat perbelanjaan kota Manado. *Jurnal Teknologi dan Inovasi*, 5(2), 101–110.
- Rahman, N. A. F. W. A., Mohamed, M., & Sulong, F. (2022). Does COVID-19 drive robot acceptance? An exploratory study of service robot in hospitality. *Tourism and Hospitality Management*, 28(1), 193–209.
- Sari, M. B., Yulkifli, & Kamus, Z. (2015). Sistem pengukuran intensitas dan durasi penyinaran matahari realtime PC berbasis LDR dan motor stepper. *Jurnal Fisika Unand*, 4(2), 130–138.
- Soni, L. N., & Wao, A. A. (2025). Face Detection Under Low-Light and Low-Resolution Conditions Using Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization and a Modified Convolutional Neural Network. *In Journal of Neonatal Surgery* ISSN (Vol. 14).

- Syah, A., & Caniago, D. P. (2023). Rancang Bangun Robot Mobile Pengawasan Berbasis IoT (Internet Of Things) Menggunakan Kamera ESP-32. *In Jurnal Quancom* (Vol. 1, Issue 2).
- Yuslan, M., & Muda, N. (2024). Desain robot dede humanoid (rdd) berbasis teknologi ai dan dtmf code. *IJNRSM*, 4(4).
- Yuslan, M., & Muda, N. R. S. (2024). Rancang bangun robot Humanoid “YN” berbasis Arduino dan face recognition untuk interaksi pintar. *Jurnal Nasional Teknologi dan Inovasi*, 1(1), 621–633.