



SKRIPSI

***DEVELOPMENT OF A REAL-TIME IOT-BASED
BISINDO SIGN LANGUAGE TRANSLATION
SYSTEM USING YOLO***

DAFFIN TANJIRO WIDISON

NPM 22083010010

DOSEN PEMBIMBING

Wahyu S. J. Saputra, S.Kom., M.Kom.

Alfan Rizaldy Pratama, S.Tr.T., M.Tr.Kom.

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAWA TIMUR
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI SAINS DATA
SURABAYA
2026**

LEMBAR PENGESAHAN

DEVELOPMENT OF A REAL-TIME IOT-BASED BISINDO SIGN LANGUAGE TRANSLATION SYSTEM USING YOLO

Oleh:
DAFFIN TANJIRO WIDISON
NPM. 22083010010

Telah dipertahankan di hadapan dan diterima oleh Tim Penguji Sidang Skripsi Program Studi Sains Data Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur pada Tanggal 23 Juni 2026:

Menyetujui,

Wahyu S. J. Saputra, S.Kom., M.Kom.
NIP. 19860825 202121 1 003



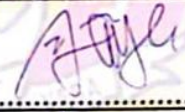
(Pembimbing I)

Alfan Rizaldy Pratama, S.Tr.T.,
M.Tr.Kom.
NIP. 19990606 202406 1 001



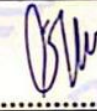
(Pembimbing II)

Amri Muhaimin, S.Stat., M.Stat., M.S.
NIP. 19950723 202406 1 002



(Ketua Penguji)

Trimono, S.Si., M.Si.
NIP. 19950908 202203 1 003



(Penguji I)

Mengetahui,

Dekan Fakultas Ilmu Komputer



Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT.
NIP. 19681126 199403 2 001

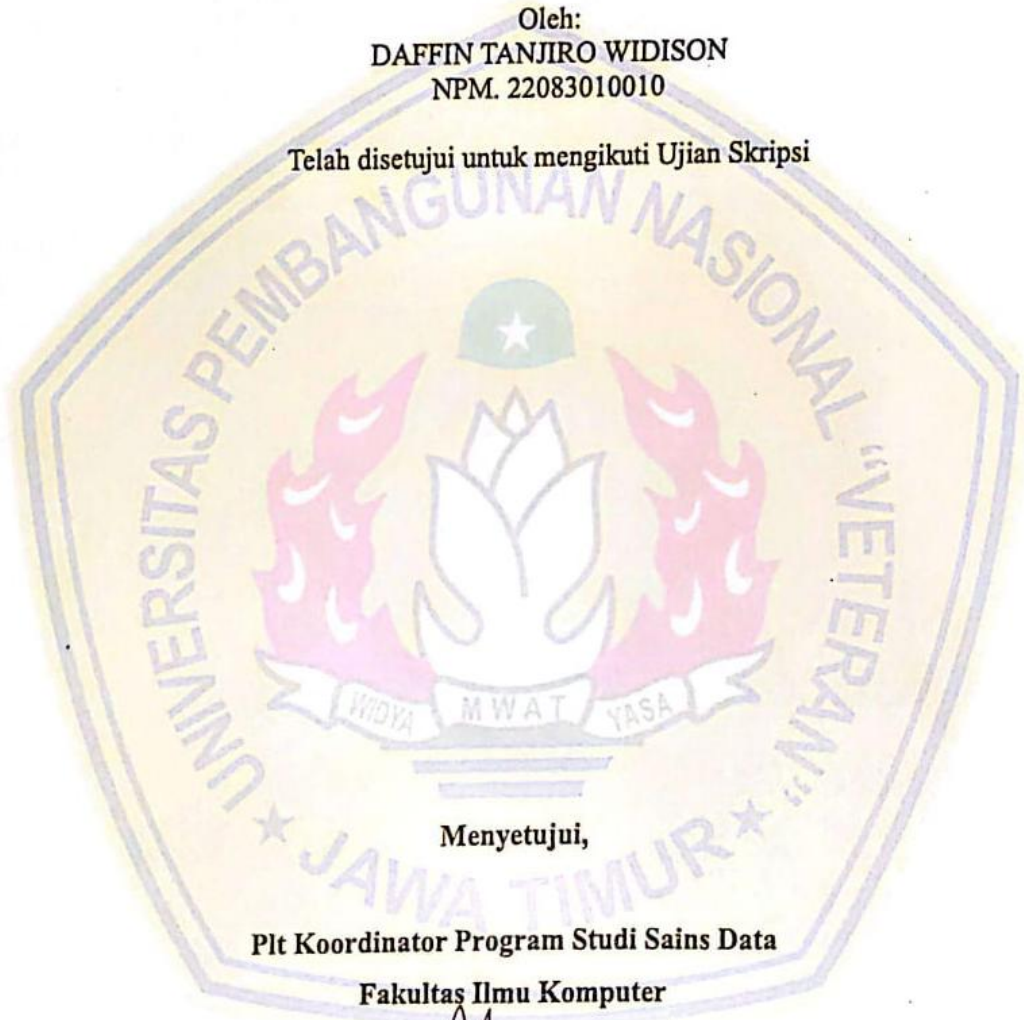
LEMBAR PERSETUJUAN

DEVELOPMENT OF A REAL-TIME IOT-BASED BISINDO SIGN LANGUAGE TRANSLATION SYSTEM USING YOLO

Oleh:

DAFFIN TANJIRO WIDISON
NPM. 22083010010

Telah disetujui untuk mengikuti Ujian Skripsi



Menyetujui,

Plt Koordinator Program Studi Sains Data
Fakultas Ilmu Komputer

Dr. I Gede Susrama Mas Diyasa, ST., M.T., IPU.

NIP. 19700619 202121 1 009

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Daffin Tanjiro Widison
NPM : 22083010010
Program : Sarjana (S1)
Program Studi : Sains Data
Fakultas : Fakultas Ilmu Komputer

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dan saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi. Apabila di kemudian hari ditemukan indikasi plagiat pada Skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun juga dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



Surabaya, 23 Juni 2026
Yang Membuat Pernyataan,



DAFFIN TANJIRO WIDISON
NPM. 22083010010

ABSTRAK

Nama Mahasiswa / NPM : Daffin Tanjiro Widison / 22083010010
Judul Skripsi : *Development of a Real-Time IoT-Based BISINDO Sign Language Translation System Using YOLO*
Dosen Pembimbing : 1. Wahyu S. J. Saputra, S.Kom., M.Kom.
2. Alfian Rizaldy Pratama, S.Tr.T., M.Tr.Kom.

Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) merupakan media komunikasi utama bagi penyandang tunarungu, namun keterbatasan pemahaman masyarakat terhadap BISINDO masih menjadi hambatan dalam komunikasi sehari-hari. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem penerjemah BISINDO berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu mendeteksi dan menerjemahkan gestur secara *real-time* menggunakan metode deteksi objek berbasis *deep learning*. Penelitian ini melakukan studi komparatif terhadap tujuh model deteksi objek, yaitu YOLOv8m, YOLOv9m, YOLOv10m, YOLO11m, YOLO26m, *Faster R-CNN*, dan SSD menggunakan *dataset* gabungan yang terdiri atas data primer dan sekunder sebanyak 7.169 citra yang mencakup gestur alfabet serta 30 kosakata dasar BISINDO. Proses pelatihan dan evaluasi dilakukan pada lingkungan komputasi yang menggunakan GPU NVIDIA GeForce GTX 1050 untuk menentukan model yang memiliki keseimbangan terbaik antara akurasi dan kecepatan inferensi. Model terpilih selanjutnya diimplementasikan pada sistem IoT berbasis ESP32-CAM yang terintegrasi dengan server inferensi berbasis Flask. Hasil pengujian menunjukkan bahwa YOLOv8m dipilih sebagai model terbaik karena memiliki keseimbangan paling optimal antara akurasi dan kecepatan inferensi, dengan nilai mAP50 sebesar 98,0%, mAP50-95 sebesar 79,7%, dan latensi inferensi sebesar 53,64 ms. Implementasi model pada sistem menghasilkan *accuracy* sebesar 95,4%, *precision* sebesar 97,9%, *recall* sebesar 95,4%, dan *F1-score* sebesar 95,7% pada data rekaman yang diperoleh langsung melalui prototipe IoT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi teknologi *computer vision*, model YOLO, dan IoT mampu menghasilkan sistem penerjemah BISINDO yang akurat, responsif, dan berpotensi mendukung komunikasi antara penyandang tunarungu dan masyarakat umum.

Kata Kunci: *BISINDO, Deteksi Objek, Internet of Things, Penerjemah Bahasa Isyarat, YOLO*

ABSTRACT

Student Name / NPM : Daffin Tanjiro Widison / 22083010010
Undergraduate thesis : *Development of a Real-Time IoT-Based BISINDO Sign Language Translation System Using YOLO*
Advisors : 1. Wahyu S. J. Saputra, S.Kom., M.Kom.
2. Alfian Rizaldy Pratama, S.Tr.T., M.Tr.Kom.

Indonesian Sign Language (BISINDO) is the primary means of communication for the deaf, but the general public's limited understanding of BISINDO remains a barrier to everyday communication. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based BISINDO translation system capable of detecting and translating gestures in real time using a deep learning-based object detection method. This study conducted a comparative analysis of seven object detection models—YOLOv8m, YOLOv9m, YOLOv10m, YOLO11m, YOLO26m, Faster R-CNN, and SSD—using a combined dataset comprising 7,169 primary and secondary images that include alphabet gestures and 30 basic BISINDO vocabulary words. The training and evaluation processes were conducted in a computing environment using an NVIDIA GeForce GTX 1050 GPU to determine the model with the best balance between accuracy and inference speed. The selected model was subsequently implemented on an ESP32-CAM-based IoT system integrated with a Flask-based inference server. Test results show that YOLOv8m was selected as the best model because it offers the most optimal balance between accuracy and inference speed, with an mAP50 of 98.0%, an mAP50-95 of 79.7%, and an inference latency of 53.64 ms. Implementing the model in the system yielded an accuracy of 95.4%, a precision of 97.9%, a recall of 95.4%, and an F1-score of 95.7% on recorded data obtained directly through the IoT prototype. The research results show that the combination of computer vision technology, the YOLO model, and IoT can produce an accurate and responsive BISINDO translation system with the potential to support communication between the deaf community and the general public.

Keywords: *BISINDO, Internet of Things, Object Detection, Sign Language Translator, YOLO*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, hidayah dan karunia-Nya kepada penulis sehingga skripsi dengan judul “*Development of a Real-Time IoT-Based BISINDO Sign Language Translation System Using YOLO*” dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Wahyu S. J. Saputra, S.Kom., M.Kom. selaku Dosen Pembimbing I dan Alfian Rizaldy Pratama, S.Tr.T., M.Tr.Kom. selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, nasehat serta motivasi kepada penulis. Selain itu, selama penyusunan proposal skripsi penulis juga banyak menerima bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT. selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Bapak Dr. I Gede Susrama Mas Diyasa, ST., M.T., IPU. selaku Pelaksana Tugas Kepala Ketua Program Studi Sains Data Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Bapak Wahyu S. J. Saputra, S.Kom., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan, bimbingan, masukan, dan dukungan selama proses penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Alfian Rizaldy Pratama, S.Tr.T., M.Tr.Kom., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan, bimbingan, masukan, dan dukungan selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Eng. Ir. Dwi Arman Prasetya, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng. yang telah berperan sebagai dosen pembimbing sebelumnya serta memberikan arahan, masukan, dan bimbingan yang berharga dalam pelaksanaan penelitian ini.
6. Bapak Muhammad Nasrudin, M.Stat., yang telah memberikan ide dan masukan terkait topik penelitian yang diangkat dalam skripsi ini.

7. Kedua orang tua serta keluarga, yang senantiasa memberikan doa, dukungan, motivasi, dan bantuan baik secara moril maupun materiil selama proses perkuliahan dan penyusunan skripsi ini.
8. Saudara Ditya Wahyu Ramadhan dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah membantu dalam proses perancangan, penyusunan, dan perakitan prototipe perangkat IoT yang digunakan dalam penelitian ini.
9. Saudari Vannesa Nathania yang telah membantu dalam proses pengumpulan data primer serta pelabelan *dataset* yang digunakan pada penelitian ini.
10. Teman-teman mahasiswa Program Studi Sains Data Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, khususnya rekan-rekan seangkatan, yang telah memberikan dukungan, bantuan, serta motivasi selama proses penyusunan skripsi ini.
11. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan kontribusi dalam penyelesaian penelitian dan penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa di dalam penyusunan skripsi ini banyak terdapat kekurangan. Untuk itu kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan penulisan skripsi ini. Akhirnya, dengan segala keterbatasan yang penulis miliki semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, Juni-2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	7
1.3. Batasan Masalah	7
1.4. Tujuan Penelitian	8
1.5. Manfaat Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1. Penelitian Terdahulu.....	11
2.2. Kerangka Teori.....	17
2.2.1. Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO).....	17
2.2.2. <i>Deep Learning</i>	18
2.2.3. <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN).....	19
2.2.4. Algoritma <i>You Only Look Once</i> (YOLO)	28
2.2.5. Perkembangan Model YOLO	31

2.2.6.	Algoritma <i>Faster R-CNN</i>	33
2.2.7.	Algoritma <i>Single Shot MultiBox Detector</i> (SSD).....	36
2.2.8.	<i>Confusion Matrix</i>	37
2.2.9.	Evaluasi Model Objek Deteksi	39
2.2.10.	<i>Framework</i> Flask.....	42
2.2.11.	LabelMe.....	42
2.2.12.	<i>Internet of Things</i> (IoT).....	43
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		47
3.1.	Variabel Penelitian dan Sumber Data	47
3.1.1.	Sumber Data Primer	47
3.1.2.	Sumber Data Sekunder	49
3.1.3.	Deskripsi Struktur Data	51
3.2.	Langkah Analisis	54
3.2.1.	Pengumpulan Data.....	56
3.2.2.	Pra-pemrosesan Data	57
3.2.3.	Pemodelan Deteksi Objek	60
3.2.4.	Evaluasi Model	67
3.2.5.	Implementasi IoT.....	70
3.2.6.	Hasil dan Luaran.....	75
3.2.7.	<i>Gap Analysis</i> terhadap Penelitian Terdahulu	76
3.3.	Desain Sistem	78
3.3.1.	Alur Kerja Sistem	78
3.3.2.	<i>User Design Flow</i>	79
3.3.3.	<i>Wireframe</i> Tampilan OLED.....	81
3.3.4.	<i>Wireframe</i> Situs	81

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	83
4.1. Hasil Penelitian	83
4.1.1. Hasil Pengumpulan Data.....	83
4.1.2. Hasil Pra-pemrosesan Data	90
4.1.3. Hasil Pemodelan Deteksi Objek	104
4.1.4. Hasil Evaluasi Performa Model	140
4.1.5. Hasil Implementasi IoT.....	156
4.1.6. Hasil dan Luaran Sistem Translasi BISINDO	160
4.1.7. <i>Gap Analysis</i> terhadap Penelitian Terdahulu	166
4.2. Tampilan Antar Muka (<i>Graphical User Interface</i>).....	168
4.2.1. Tampilan Layar OLED pada Perangkat IoT	169
4.2.2. Tampilan Laman Konfigurasi WiFi	169
4.2.3. Tampilan Laman Testing Perangkat dan Konfigurasi Kamera	170
4.2.4. Tampilan Dasbor Server Deteksi Objek.....	172
4.2.5. Integrasi Antar Antarmuka Sistem	173
BAB V PENUTUP.....	177
5.1. Kesimpulan	177
5.2. Saran Pengembangan	178
DAFTAR PUSTAKA	179
DAFTAR LAMPIRAN	187

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Gerakan BISINDO dan SIBI [26].....	18
Gambar 2.2. <i>Deep Learning</i> sebagai Sub-bidang <i>Machine Learning</i> [28].....	19
Gambar 2.3. Arsitektur <i>Convolutional Neural Network</i> [31]	20
Gambar 2.4. Layer Konvolusi [31].....	20
Gambar 2.5. Layer <i>Pooling</i> [31].....	21
Gambar 2.6. Layer <i>Fully Connected</i> [31].....	22
Gambar 2.7. Algoritma <i>Convolutional Neural Network</i> [32].....	25
Gambar 2.8. Optimasi <i>Gradient Descent</i> [32].....	26
Gambar 2.9. <i>Grid Cell</i> Citra Input YOLO [34]	28
Gambar 2.10. Pelabelan Data Citra dengan <i>Bounding Box</i> [35]	29
Gambar 2.11. Arsitektur YOLO [36]	30
Gambar 2.12. Perbandingan mAP Model Deteksi Objek [39]	31
Gambar 2.13. <i>Region Proposal Network</i> (RPN) [45]	34
Gambar 2.14. Arsitektur <i>Faster R-CNN</i> [46]	35
Gambar 2.15. Arsitektur SSD [47]	36
Gambar 2.16. <i>Intersection over Union</i> (IoU) [51].....	40
Gambar 2.17. Kurva presisi- <i>recall</i> [53].....	40
Gambar 2.18. Modul ESP32-CAM	44
Gambar 2.19. Modul OLED SSD1306.....	45
Gambar 2.20. Modul Baterai Litium-ion.....	46
Gambar 3.1. <i>Dataset</i> Kumpulan Abjad BISINDO [66].....	49
Gambar 3.2. <i>Dataset</i> Kumpulan Kata BISINDO [67].....	50
Gambar 3.3. Struktur Data dalam Format YOLO	51
Gambar 3.4. Diagram Alir Penelitian	55
Gambar 3.5. Diagram Alir Pengumpulan Data.....	56
Gambar 3.6. Diagram Alir Pra-pemrosesan Data	57
Gambar 3.7. Diagram Alir Pemodelan	61
Gambar 3.8. Diagram Alir Evaluasi Model.....	68
Gambar 3.9. Diagram Alir Implementasi IoT.....	70

Gambar 3.10. Rancangan Sirkuit Prototipe	72
Gambar 3.11. Desain Kemasan Prototipe	73
Gambar 3.12. Desain Kemasan Bagian Depan	74
Gambar 3.13. Desain Kemasan Bagian Belakang	74
Gambar 3.14. Diagram Alir Hasil dan Luaran	75
Gambar 3.15. Alur Kerja Sistem.....	78
Gambar 3.16. <i>User Design Flow</i>	80
Gambar 3.17. <i>Wireframe</i> Tampilan OLED	81
Gambar 3.18. <i>Wireframe</i> Situs	82
Gambar 4.1. Hasil Pengumpulan Data Primer	85
Gambar 4.2. Variasi Pengambilan Foto Data Primer	86
Gambar 4.3. Proses Pelabelan Data menggunakan Labelme	87
Gambar 4.4. Hasil Pelabelan Data Primer	87
Gambar 4.5. Laman Unduh <i>Dataset</i> Sekunder	88
Gambar 4.6. Hasil Pengumpulan Data Sekunder.....	89
Gambar 4.7. Perbandingan Jumlah Data Primer dan Data Sekunder	90
Gambar 4.8. Perbandingan Jumlah Citra Sebelum dan Sesudah Disaring	94
Gambar 4.9. Perbandingan Sebelum dan Sesudah Transformasi.....	98
Gambar 4.10. Distribusi <i>Validation Split</i>	100
Gambar 4.11. Distribusi Kelas pada Data Latih.....	101
Gambar 4.12. Hasil Augmentasi Data.....	103
Gambar 4.13. Grafik Pelatihan Model YOLOv8m	106
Gambar 4.14. <i>Confusion Matrix</i> Model YOLOv8m terhadap Data Uji.....	108
Gambar 4.15. Grafik Pelatihan Model YOLOv9m	111
Gambar 4.16. <i>Confusion Matrix</i> Model YOLOv9m terhadap Data Uji.....	113
Gambar 4.17. Grafik Pelatihan Model YOLOv10m	116
Gambar 4.18. <i>Confusion Matrix</i> Model YOLOv10m terhadap Data Uji.....	118
Gambar 4.19. Grafik Pelatihan Model YOLO11m	121
Gambar 4.20. <i>Confusion Matrix</i> Model YOLO26m terhadap Data Uji.....	123
Gambar 4.21. Grafik Pelatihan Model YOLO26m	126
Gambar 4.22. <i>Confusion Matrix</i> Model YOLO26m terhadap Data Uji.....	128

Gambar 4.23. Grafik Pelatihan Model <i>Faster R-CNN</i>	131
Gambar 4.24. <i>Confusion Matrix</i> Model <i>Faster R-CNN</i> terhadap Data Uji.....	133
Gambar 4.25. Grafik Pelatihan Model SSD	137
Gambar 4.26. <i>Confusion Matrix</i> Model SSD terhadap Data Uji.....	139
Gambar 4.27. Grafik Kurva <i>Loss</i> Pelatihan Keseluruhan Model	141
Gambar 4.28. Grafik Kurva Metrik mAP50-95 Keseluruhan Model.....	143
Gambar 4.29. Grafik Metrik Evaluasi Keseluruhan Model pada Data Uji	146
Gambar 4.30. Grafik <i>Latency</i> Keseluruhan Model pada Data Uji	147
Gambar 4.31. mAP50-95 terhadap <i>Latency</i> pada Keseluruhan Model YOLO.	149
Gambar 4.32. Hasil Pengumpulan Data Redup	152
Gambar 4.33. Contoh Deteksi Gestur pada Kondisi Pencahayaan Redup	153
Gambar 4.34. <i>Confusion Matrix</i> Model YOLOv8m terhadap Data Redup.....	155
Gambar 4.35. Hasil Perakitan PCB	157
Gambar 4.36. Hasil Produksi Kemasan <i>3D Printing</i>	158
Gambar 4.37. Hasil Akhir Penyusunan Prototipe.....	159
Gambar 4.38. Visualisasi Hasil Pengujian Klasifikasi Gestur BISINDO	161
Gambar 4.39. <i>Confusion Matrix</i> Sistem Translasi terhadap Data Rekaman	163
Gambar 4.40. <i>Latency</i> Komunikasi ESP32-CAM dengan Server Inferensi.....	165
Gambar 4.41. Tampilan Layar OLED Mode <i>Standby</i>	169
Gambar 4.42. Laman Konfigurasi WiFi	170
Gambar 4.43. Laman Testing Perangkat IoT	171
Gambar 4.44. Konfigurasi Kamera.....	172
Gambar 4.45. Tampilan Dasbor Server Deteksi Objek	173
Gambar 4.46. Hasil Deteksi Gestur pada Dasbor Server Inferensi	174
Gambar 4.47. Hasil Deteksi Gestur yang Ditampilkan ke Layar OLED.....	175

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu	11
Tabel 2.2. Fungsi Aktivasi Umum	24
Tabel 2.3. Perkembangan Arsitektur Model YOLO	32
Tabel 2.4. <i>Confusion Matrix</i>	38
Tabel 3.1. Spesifikasi Data Primer	48
Tabel 3.2. Deskripsi Variabel Data	52
Tabel 3.3. Kelas Kata dalam Penelitian	53
Tabel 3.4. Skema Augmentasi Data Latih	60
Tabel 3.5. <i>Hyperparameter</i> Pelatihan yang Diseragamkan	61
Tabel 3.6. Konfigurasi <i>Hyperparameter</i> Pelatihan Model YOLO	63
Tabel 3.7. Konfigurasi <i>Hyperparameter</i> Pelatihan Model <i>Faster R-CNN</i>	66
Tabel 3.8. Konfigurasi <i>Hyperparameter</i> Pelatihan Model SSD	67
Tabel 3.9. Kebutuhan Bahan Perangkat	71
Tabel 4.1. Skema Pengambilan Data Primer	83
Tabel 4.2. Pembacaan Data dalam Format Tabel	92
Tabel 4.3. Sejarah Pelatihan Model YOLOv8m	105
Tabel 4.4. Metrik Evaluasi Model YOLOv8m terhadap Data Uji	107
Tabel 4.5. Sejarah Pelatihan Model YOLOv9m	110
Tabel 4.6. Metrik Evaluasi Model YOLOv9m terhadap Data Uji	112
Tabel 4.7. Sejarah Pelatihan Model YOLOv10m	115
Tabel 4.8. Metrik Evaluasi Model YOLOv10m terhadap Data Uji	117
Tabel 4.9. Sejarah Pelatihan Model YOLO11m	120
Tabel 4.10. Metrik Evaluasi Model YOLO11m terhadap Data Uji	122
Tabel 4.11. Sejarah Pelatihan Model YOLO26m	125
Tabel 4.12. Metrik Evaluasi Model YOLO26m terhadap Data Uji	127
Tabel 4.13. Sejarah Pelatihan Model <i>Faster R-CNN</i>	131
Tabel 4.14. Metrik Evaluasi Model <i>Faster R-CNN</i> terhadap Data Uji	132
Tabel 4.15. Sejarah Pelatihan Model SSD	136
Tabel 4.16. Metrik Evaluasi Model SSD terhadap Data Uji	138

Tabel 4.17. Tabel Metrik Evaluasi Keseluruhan Model pada Data Uji.....	145
Tabel 4.18. Evaluasi Model Terbaik terhadap Lokasi Data	151
Tabel 4.19. Metrik Evaluasi Model YOLOv8m terhadap Data Redup	154
Tabel 4.20. Detail Pengambilan Data Rekaman	161
Tabel 4.21. Metrik Evaluasi Sistem dalam Klasifikasi Gestur BISINDO	162

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Letter of Acceptance</i> (LoA) Jurnal.....	187
Lampiran 2. <i>Dataset</i> Penelitian.....	188
Lampiran 3. Kode Skrip Analisis	189
Lampiran 4. Kode Skrip <i>Graphical User Interface</i> (GUI).....	190

DAFTAR NOTASI

$A(i, j)$	: nilai pada <i>activation map</i>
I	: citra <i>input</i>
K	: <i>kernel</i> berukuran $M \times N$
b	: parameter bias
$a_i^{(L)}$	: nilai neuron
L	: letak layer neuron
σ	: fungsi aktivasi
x_i	: nilai neuron <i>input</i> atau neuron pada layer sebelumnya
w_i	: parameter bobot
n	: jumlah neuron pada layer sebelumnya
$Loss$	: nilai <i>loss</i>
C	: jumlah kelas
y_c	: label sebenarnya (<i>ground truth</i>). bernilai 1 jika kelas tersebut benar, 0 jika bukan
$\hat{y}_c$	: probabilitas prediksi model terhadap kelas ke- c
$\mathbf{y}$	: vektor <i>grid</i>
P_c	: probabilitas terdapat objek dalam <i>grid</i>
b_x	: koordinat <i>bounding box</i> pada sumbu x
b_y	: koordinat <i>bounding box</i> pada sumbu y
b_h	: tinggi <i>bounding box</i>
b_w	: panjang <i>bounding box</i>
$c_1 \dots c_n$	: probabilitas kelas objek
AP_i	: <i>average precision</i> dari kelas ke- i
N	: jumlah total kelas
θ	: parameter atau bobot model
η	: <i>learning rate</i>
$\nabla J(\theta)$	: gradien fungsi <i>loss</i>
y_i	: <i>ground truth</i> yang sesuai dengan data masukan ke- i .

m_t	: estimasi momen pertama
v_t	: estimasi momen kedua
λ	: koefisien <i>weight decay</i>
ϵ	: konstanta kecil untuk menghindari pembagian dengan nol
R_{ij}	: nilai intensitas piksel kanal merah (<i>Red</i>)
G_{ij}	: nilai intensitas piksel kanal hijau (<i>Green</i>)
B_{ij}	: nilai intensitas piksel kanal biru (<i>Blue</i>)