

SKRIPSI

**PENGENALAN BAHASA ISYARAT INDONESIA
(BISINDO) SEBAGAI ALAT KOMUNIKASI
NONVERBAL DENGAN COMPUTER VISION**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh:

I Kadek Dwipayana Putra

NIM. 2115344005

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

ABSTRAK

Keterbatasan pemahaman masyarakat terhadap Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) dan minimnya media pembelajaran interaktif menghambat komunikasi inklusif. Penelitian ini mengembangkan sistem pengenalan BISINDO berbasis computer vision berbentuk prototipe yang siap dikembangkan untuk mendukung komunikasi nonverbal real-time sekaligus latihan pembelajaran gestur. Tahapan penelitian mencakup pembuatan mixed dataset alfabet BISINDO (A–Z) melalui pengambilan gambar mandiri dan pengumpulan data dari sumber web, kemudian diproses dengan preprocessing dan augmentasi. Sistem dirancang menggunakan TensorFlow Object Detection API dengan arsitektur SSD MobileNet V2 FPNLite (320×320 piksel) melalui transfer learning berbasis deep learning, dan dioptimalkan untuk perangkat edge computing NVIDIA Jetson Nano. Antarmuka bergaya game dengan PyGame menyediakan mode komunikasi dan latihan, di mana huruf yang dikenali dapat dirangkai menjadi kata, serta hasil latihan gestur BISINDO disimpan secara otomatis ke PDF, sedangkan hasil komunikasi real-time ditampilkan langsung di layar. Evaluasi menggunakan confusion matrix menunjukkan akurasi pelatihan 94%, akurasi pengujian komunikasi real-time 81,25%, serta hasil uji latihan gestur yang konsisten dengan performa model, membuktikan keandalan prototipe sebagai media pembelajaran dan alat bantu komunikasi yang siap dikembangkan lebih lanjut.

Kata Kunci: BISINDO, Bahasa Isyarat, Computer Vision, Mixed Dataset, TensorFlow, SSD MobileNet, Transfer Learning, Deep Learning, Edge Computing, PyGame, Real-Time Recognition.

ABSTRACT

Limited public proficiency in Indonesian Sign Language (BISINDO) and the lack of interactive learning media hinder inclusive communication. This study develops a BISINDO recognition system based on computer vision as a prototype ready for further development, supporting both real-time non-verbal communication and gesture training. The research includes creating a mixed dataset of the BISINDO alphabet (A–Z) from self-captured images and web sources, processed through preprocessing and augmentation. The system employs the TensorFlow Object Detection API with an SSD MobileNet V2 FPNLite (320×320 pixels) architecture using a deep learning-based transfer learning approach, optimized for the NVIDIA Jetson Nano edge computing device. A game-styled interface built with PyGame offers communication and training modes, where recognized letters can form words, and only the gesture training results are automatically exported to PDF, while real-time communication results are displayed directly. Evaluation using a confusion matrix yielded 94% training accuracy, 81.25% real-time communication accuracy, and consistent gesture training performance, demonstrating the reliability of the prototype as a learning medium and communication aid that is ready for further implementation.

Keywords: *BISINDO, Computer Vision, Mixed Dataset, TensorFlow, SSD MobileNet, Transfer Learning, Deep Learning, Edge Computing, PyGame, Real-Time Recognition.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN UJIAN SKRIPSI	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA SKRIPSI	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.5.1. Manfaat Akademik	3
1.5.2. Manfaat Aplikatif	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
2.1. Penelitian Sebelumnya.....	Error! Bookmark not defined.
2.2. Landasan Teori.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.1. Computer Vision.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.2. Transfer Learning	Error! Bookmark not defined.
2.2.3. BISINDO.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.4. Object Detection.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.5. TensorFlow	Error! Bookmark not defined.
2.2.6. NVIDIA Jetson	Error! Bookmark not defined.
2.2.7. Webcam	Error! Bookmark not defined.
2.2.8. Jupyter Notebook	Error! Bookmark not defined.
2.2.9. PyGame	Error! Bookmark not defined.
2.2.10. Mini LCD Capasitive	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODE PENELITIAN	Error! Bookmark not defined.
3.1. Rancangan Sistem.....	Error! Bookmark not defined.
3.1.1. Perancangan Sistem.....	Error! Bookmark not defined.

3.2.	Implementasi Sistem.....	Error! Bookmark not defined.
3.2.1.	Metode Pengambilan Keputusan Sistem..	Error! Bookmark not defined.
3.3.	Analisis Hasil Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.3.1.	Pengujian Hasil Model	Error! Bookmark not defined.
3.3.2.	Pengujian Hasil Model Menggunakan Confusion Matrix	Error! Bookmark not defined.
3.3.3.	Pengujian Secara <i>Real-Time</i>	Error! Bookmark not defined.
3.4.	Hasil Yang Diharapkan	Error! Bookmark not defined.
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		Error! Bookmark not defined.
4.1.	Implementasi Sistem.....	Error! Bookmark not defined.
4.1.1.	Implementasi <i>Dataset</i>	Error! Bookmark not defined.
4.1.2.	Implementasi Model.....	Error! Bookmark not defined.
4.1.3.	Implementasi Aplikasi.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.	Hasil Dan Analisa Pengujian	Error! Bookmark not defined.
4.2.1.	Hasil Pengujian Model	Error! Bookmark not defined.
4.2.2..	Analisa Hasil Pengujian Model.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.3	Hasil Pengujian <i>Real-Time</i>	Error! Bookmark not defined.
4.2.4.	Analisa Hasil Pengujian Real Time.....	Error! Bookmark not defined.
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		5
5.1..	Kesimpulan	5
5.2	Saran	6
DAFTAR PUSTAKA.....		8
LAMPIRAN.....		Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Computer Vision	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.2 Alur Transfer Learning	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.3 BISINDO	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.4 NVIDIA Jetson.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.5 Webcam.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.6 Mini LCD Capasitive	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.1 Dataset.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.2 Ilustrasi Alat Dari Depan Kamera (Sudut Pandang Pemberi Gestur) ..	Error! Bookmark not defined.
Bookmark not defined.	
Gambar 3.3 Ilustrasi Alat Dari Belakang Kamera (Sudut Pandang Pembaca)	Error! Bookmark not defined.
Bookmark not defined.	
Gambar 3.4 Blok Diagram Sistem	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.5 Rancangan Display Pada NVIDIA Jetson Menggunakan PyGame (Main)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.6 Rancangan Display Pada NVIDIA Jetson Menggunakan PyGame (Menu)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.7 Rancangan Display Pada Raspberry Pi Menggunakan NVIDIA Jetson (Komunikasi)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.8 Rancangan Display Pada Raspberry Pi Menggunakan PyGame (Mode Latihan).....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.9 Wiring Diagram Sistem.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.10 Flowchart Sistem.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.1 Frame Kamera Serta Box Lokasi Gesture Tangan	Error! Bookmark not defined.
defined.	
Gambar 4.2 Gambar Grayscale Untuk Memantau Gambar yang Dijadikan Dataset	Error! Bookmark not defined.
Bookmark not defined.	
Gambar 4.3 ROI Frame Yang Ditangkap dan Dijadikan Dataset	Error! Bookmark not defined.
defined.	
Gambar 4.4 Labeling Gambar.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.5 Hasil Labeling Gambar	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.6 Output Dari Kode Yang Digunakan Untuk Pelatihan Model.....	Error! Bookmark not defined.
Bookmark not defined.	
Gambar 4.7 Proses Train Model	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.8 Tampilan Awal Aplikasi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.9 Tampilan Menu Aplikasi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.10 Gambar Dari Fitur Komunikasi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.11 Gambar Dari Fitur Latihn.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.12 Gambar Tabel Confusion Matrix.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.13 Gambar Grafik Presisi Perkelas	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.14 Diagram Recall Perkelas	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.15 Diagram F1-Scor Perkelas	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.16 Diagram Support Perkelas.....	Error! Bookmark not defined.

Gambar 4.17 Diagram Cuplikan Training Model	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.18 Hasil Pelatihan 4 Kata	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.19 Gambar Hasil Pelatihan 10 Huruf.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.20 Gambar Huruf Pertama Pengujian Dengan Kata "MESIN"	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.21 Gambar Akhir Pengujian Dengan Kata "MESIN"	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.22 Gambar Pengujian Real Time Mode Latihan "MEJA"	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.23 Gambar Pengujian Real Time Mode Latihan "KOTA"	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tabel Data Gambar.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.2 Daftar Perangkat.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.3 Tabel Confusion Matrix	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.4 Hasil Perhitungan Dengan Confusion Matrix .	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.5 Tabel Pengujian Secara Real Time (Sudut Pandang Pemberi Gestur)	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.6 Tabel Pengujian Secara Real Time (Sudut Pandang Penerima Gestur) ...	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.1 Hasil Gambar yang Dijadikan Dataset Dengan Beberapa Variasin	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.2 Daftar Library Yang Digunakan Pada Penelitian Ini	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.3 Tabel Evaluasi Model Setiap Kelas.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Manual Berdasarkan Confusion Matrix	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.5 Tabel Dari Subject Pemberi Gesture	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.6 Tabel Dari Subject Penerima Gesture	Error! Bookmark not defined.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bahasa isyarat berperan sebagai sarana komunikasi utama bagi individu tunarungu dan tunawicara dalam mengekspresikan gagasan, perasaan, serta informasi. Di Indonesia, Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO)[1] merupakan salah satu bentuk bahasa isyarat yang banyak digunakan oleh komunitas tersebut. Namun, kurangnya pemahaman masyarakat luas terhadap BISINDO sering kali menjadi kendala dalam mewujudkan komunikasi yang inklusif. Akibatnya, interaksi sosial serta akses penyandang disabilitas terhadap layanan publik, pendidikan, dan kesempatan kerja menjadi terbatas, Badan Pusat Statistik (BPS) mengumumkan saat tahun 2010 penderita tuna rungu-wicara di Indonesia berjumlah 3.024.271 juta jiwa (Pada tahun 2010 jumlah penduduk sebesar 191.709.144 juta) (Sensus Penduduk 2010-Penduduk Menurut Wilayah dan Tingkat Kesulitan Mendengar / Indonesia)[2].

Dalam pengembangan aplikasi pendeteksi bahasa isyarat, khususnya untuk Bahasa Isyarat Alfabet dan Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO), *machine learning* dapat membantu menciptakan model yang secara otomatis mengenali gerakan tangan dari gambar atau video[3]. Dengan penerapannya, dapat dikembangkan sistem yang mampu mengenali gerakan BISINDO secara langsung dan mengubahnya menjadi teks atau suara yang dapat dipahami oleh masyarakat secara luas.

Berbagai penelitian tentang pengenalan bahasa isyarat berbasis *computer vision* telah dilakukan di berbagai negara dengan pendekatan yang beragam. Di Indonesia sendiri, sejumlah penelitian telah mengembangkan sistem pengenalan bahasa isyarat menggunakan algoritma *deep learning* dan *machine learning*. Salah satu penelitian, misalnya, perancang sistem yang mampu mengenali alfabet BISINDO dengan mengombinasikan algoritma *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT) dan *Convolutional Neural Network* (CNN)[4].

Namun, penelitian mengenai pengenalan BISINDO masih terbatas, sehingga memberikan peluang bagi penelitian lebih lanjut untuk menyempurnakan dan mengembangkan sistem yang sudah ada agar lebih optimal dan efisien. Pengembangan sistem pengenalan BISINDO berbasis *computer vision*, dengan TensorFlow[5], MediaPipe dan Raspberry Pi[6], diharapkan dapat menciptakan alat bantu komunikasi nonverbal yang lebih efisien. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan

metode *Convolutional Neural Network* (CNN) dalam pengenalan bahasa isyarat terbukti efektif dalam mendeteksi pola gerakan tangan dan ekspresi wajah[7]. Sistem ini tidak hanya membantu interaksi antara penyandang disabilitas dengan masyarakat luas, tetapi juga berkontribusi dalam meningkatkan kesadaran akan adanya atau pentingnya BISINDO. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem pengenalan BISINDO menggunakan CNN sebagai solusi inovatif dalam mendukung komunikasi nonverbal yang lebih inklusif dan adil, Berdasarkan latar belakang ini, penulis mengetahui perlunya sebuah alat komunikasi visual yang dapat membantu memahami dan menerjemahkan Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) sebagai bentuk komunikasi nonverbal. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dikembangkan sebuah sistem yang memanfaatkan *computer vision* untuk mengenali dan menginterpretasikan gerakan tangan, TensorFlow untuk pengolahan hingga pelatihan model dan CNN untuk metode pelatihan model dalam pengenala BISINDO ini, sehingga dapat digunakan sebagai alat bantu komunikasi bagi penyandang tunarungu serta memperluas aksesibilitas dalam berbagai situasi.

1.2. Perumusan Masalah

Merujuk pada latar belakang yang telah dipaparkan, terdapat beberapa permasalahan yang masih perlu diteliti lebih lanjut, di antaranya :

1. Bagaimana mengkonversi ilustrasi Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) menjadi dataset BISINDO dalam bentuk image digital, yang nantinya digunakan untuk melatih sistem?
2. Bagaimana membuat rancangan sistem ini sehingga mencegah penyampaian pesan yang ambigu atau tidak jelas, dari pembuatan dataset, pemilihan model, proses training model hingga ke implementasi pada rancangan?
3. Bagaimana rancangan alat ini dapat membantu masyarakat umum untuk belajar berkomunikasi secara visual dan menarik minat untuk belajar Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO)?

1.3. Batasan Masalah

Untuk memastikan penelitian ini tetap terarah dan fokus, beberapa batasan masalah yang diterapkan dalam menjawab rumusan masalah adalah sebagai berikut:

- a. Dataset untuk penelitian ini akan dibuat serta pelatihan sistem menggunakan format untuk *framework TensorFlow* karena lebih unggul dari yang lainnya

serta fleksibel dan bisa digunakan di berbagai perangkat, termasuk NVIDIA Jetson.

- b. Penelitian ini akan menggunakan *TensorFlow* untuk mengatasi penyampaian pesan yang ambigu atau tidak jelas, dari pembuatan dataset hingga mendeteksi bentuk gestur tangan.
- c. Pengenalan BISINDO yang dilakukan dalam penelitian ini hanya terbatas pada alfabet huruf A-Z, kemudian dirangkai menjadi sebuah kata pada NVIDIA Jetson.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menghasilkan *dataset* digital Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) yang dapat digunakan untuk melatih sistem pengenalan gestur.
- b. Merancang dan mengimplementasikan sistem pengenalan BISINDO yang mampu meminimalkan pesan ambigu dan dapat berjalan optimal pada perangkat dengan spesifikasi terbatas.
- c. Mengembangkan alat dengan antarmuka interaktif untuk membantu masyarakat umum mempelajari BISINDO secara visual dan menarik minat belajar.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat signifikan, baik secara akademik maupun aplikatif, yang tidak hanya berkontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan, tetapi juga berdampak positif bagi kehidupan sehari-hari, khususnya penyandang disabilitas. Berikut manfaat yang diharapkan :

1.5.1. Manfaat Akademik

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang *computer vision*, *machine learning*, dan pengenalan bahasa isyarat, khususnya dalam konteks Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO).
2. Penelitian ini akan mengembangkan dan menguji metode dalam pengenalan BISINDO menggunakan *computer vision*.
3. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai materi pembelajaran atau topik penelitian bagi mahasiswa dan peneliti yang tertarik dalam bidang

computer vision, *machine learning*, dan aplikasi teknologi dalam bidang komunikasi nonverbal.

1.5.2. Manfaat Aplikatif

1. Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai aplikasi berbasis teknologi yang memudahkan interaksi nonverbal di berbagai sektor, seperti pendidikan, layanan publik, dan pekerjaan, dengan menggunakan *computer vision* dan *machine learning*.
2. Penggunaan sistem berbasis teknologi ini akan mempermudah proses pengenalan BISINDO secara otomatis dan real-time, serta meningkatkan efisiensi dalam komunikasi sehari-hari antara penyandang disabilitas dan masyarakat umum.
3. Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang adanya serta pentingnya BISINDO sebagai bagian dari komunikasi inklusif.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Proses konversi ilustrasi Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) menjadi dataset digital dilakukan dengan mengambil citra gestur tangan A–Z menggunakan webcam melalui pemrograman Python di Jupyter Notebook. Setiap citra direkam pada *Region of Interest* (ROI) yang telah ditentukan dengan menjaga agar area tangkapan bebas dari objek tambahan yang berlebihan untuk menghindari *noise*, kemudian disimpan dalam folder sesuai kelas huruf. Dataset yang diperoleh diperkaya melalui teknik augmentasi guna menambah variasi posisi, pencahayaan, dan sudut pengambilan, lalu dikombinasikan dengan dataset tambahan dari sumber daring sehingga membentuk *mix dataset* yang lebih beragam. Seluruh citra, baik hasil pengambilan langsung, augmentasi, maupun sumber eksternal, dilabeli menggunakan LabelImg Master dengan penandaan area tangan dan klasifikasi huruf A–Z, lalu disusun secara terstruktur bersama file label sebagai dataset final yang digunakan pada tahap pelatihan model.
2. Pengembangan sistem pengenalan Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) dilakukan mulai dari penyusunan *dataset* hingga implementasi pada perangkat untuk memastikan pesan yang dihasilkan tidak ambigu. Model dibangun menggunakan arsitektur *SSD MobileNet V2* melalui metode *transfer learning*, dengan data latih yang berasal dari hasil pengambilan gambar, augmentasi, dan sumber daring. Penyesuaian parameter dilakukan pada *pipeline.config* sesuai jumlah kelas dan format data. Evaluasi menggunakan metrik akurasi, presisi, *recall*, dan *F1-score* berdasarkan *confusion matrix* menunjukkan presisi rata-rata 0,94, *recall* rata-rata 0,93, dan *F1-score* rata-rata 0,93. Beberapa huruf memiliki nilai di bawah 90%, yaitu M (presisi 0,87, *recall* 0,85, *F1-score* 0,86), N (presisi 0,88, *recall* 0,86, *F1-score* 0,87), O (presisi 0,89, *recall* 0,88, *F1-score* 0,88), dan Q (presisi 0,88, *recall* 0,87, *F1-score* 0,87). Rendahnya nilai pada huruf tersebut disebabkan kemiripan bentuk gestur dan perbedaan sudut pengambilan gambar yang memengaruhi ketepatan deteksi. Berdasarkan hasil ini, *threshold confidence* ditetapkan sebesar 50% untuk menjaga akurasi prediksi sekaligus meningkatkan kecepatan deteksi huruf. Sistem dilengkapi mekanisme *voting frame* untuk memvalidasi hasil prediksi sebelum diubah menjadi huruf atau kata, serta fitur *undo* dan *spasi* untuk mengoreksi

kesalahan input, sehingga mampu mengurangi risiko kesalahan pembacaan gestur dan menjaga kejelasan pesan saat digunakan secara *real-time*.

3. Pengujian sistem pengenalan Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) secara real-time pada NVIDIA Jetson Nano menunjukkan bahwa semua partisipan mampu menampilkan gestur huruf dan kata sesuai pilihannya, meski tingkat keberhasilan berbeda-beda. Beberapa subjek, seperti 1 dan 2, dikenali dengan cepat (3–4 detik untuk huruf dan 18–22 detik untuk kata), sedangkan ada subjek yang memilih kata MESIN, namun terbaca sebagai NESLN dalam 41,32 detik akibat gestur tidak sesuai, dan kata ULAT memerlukan 48,53 detik karena gangguan warna pakaian pada deteksi tangan. Penurunan threshold dari 0,6–0,7 menjadi 0,5 meningkatkan responsivitas Jetson Nano, meski toleransi terhadap gestur kurang tepat juga meningkat. Faktor seperti pencahayaan, warna pakaian, sudut kamera, posisi tangan, dan konsistensi gerakan memengaruhi performa sistem, dengan waktu deteksi huruf 2–9 detik dan kata 16–48 detik. Hasil ini menegaskan potensi sistem sebagai media pembelajaran visual BISINDO dengan umpan balik real-time, meskipun perlu penyempurnaan untuk meningkatkan akurasi pengenalan kata dan ketahanan terhadap variasi lingkungan. Penerapan mode latihan berbasis permainan menghadirkan pengalaman belajar interaktif, dengan umpan balik dan penilaian langsung yang mendorong pengguna meningkatkan ketepatan serta kecepatan gestur. Antarmuka menggabungkan elemen visual, interaksi real-time, dan mekanisme penilaian yang memfasilitasi keterlibatan aktif, baik secara individu maupun kompetitif. Seluruh hasil latihan tersimpan otomatis dalam PDF sehingga perkembangan pembelajaran dapat dipantau. Uji coba membuktikan sistem efektif digunakan oleh pengguna umum, menunjukkan keberhasilan desain alat dalam membuat pembelajaran BISINDO menjadi menyenangkan, interaktif, dan terstruktur.

5.2 Saran

1. Untuk meningkatkan ketahanan sistem dalam menghadapi kondisi pencahayaan yang beragam, disarankan untuk menerapkan teknik prapemrosesan gambar *dataset* yang lebih fleksibel, seperti penyesuaian intensitas cahaya atau peningkatan kualitas visual agar sistem tetap mampu mengenali gesture dengan akurat.

2. Agar sistem tetap berjalan optimal pada perangkat dengan spesifikasi terbatas seperti Jetson Nano, disarankan untuk mengonversi model ke format yang lebih ringan seperti *TensorFlow Lite* (.tflite) atau mengoptimalkannya menggunakan *TensorRT*,
3. Data pelatihan perlu diperluas dengan mencakup lebih banyak variasi gesture dari berbagai individu, serta lingkungan, terutama pencahayaan yang berbeda, agar sistem dapat belajar lebih baik dalam mengenali isyarat secara umum di berbagai kondisi nyata.
4. Ke depan, sistem dapat dikembangkan menjadi media komunikasi dua arah dengan menambahkan fitur penerjemahan teks menjadi gerakan isyarat melalui animasi atau avatar digital, sehingga memperluas fungsi aplikasi sebagai alat bantu komunikasi visual yang lebih menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Beranda,” Pusbisindo. Accessed: Feb. 08, 2025. [Online]. Available: <https://www.pusbisindo.org>
- [2] “Sistem Pendeteksi Gerakan Bahasa Isyarat Indonesia Menggunakan Webcam Dengan Metode Supervised Learning,” *J. Ilm. Komputasi*, vol. 22, no. 3, Oct. 2023, doi: 10.32409/jikstik.22.3.3403.
- [3] E. I. Setiawan, “Training Alphabet Indonesian Sign Language (Bisindo) Detection Model,” Google Developer Experts. Accessed: Feb. 10, 2025. [Online]. Available: <https://medium.com/google-developer-experts/training-alphabet-indonesian-sign-language-bisindo-detection-model-3836e92c2180>
- [4] A. Widya Agata, W. S J Saputra, and C. Aji Putra, “Pengenalan Bahasa Isyarat Indonesia (Bisindo) Menggunakan Algoritma Scale Invariant Feature Transform (Sift) Dan Convolutional Neural Network (CNN),” *JATI J. Mhs. Tek. Inform.*, vol. 8, no. 1, pp. 1054–1061, Mar. 2024, doi: 10.36040/jati.v8i1.8917.
- [5] “TensorFlow,” TensorFlow. Accessed: Feb. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.tensorflow.org/>
- [6] R. P. Ltd, “Raspberry Pi,” Raspberry Pi. Accessed: Feb. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.com/>
- [7] M. F. Abdurrahman, W. N. Khotimah, and S. Kom, “Pengenalan Bahasa Isyarat Indonesia Dengan Algoritma Convolutional Neural Network (Cnn) Menggunakan Kinect 2.0,” 2019.
- [8] D. K. Ahwani, S. N. Budiman, and M. F. Rahmat, “Penerapan Mediapipe dalam Pengenalan Bisindo Berbasis Deep Learning dan Computer Vision (Studi Kasus: SLB-C B Yayasan Pendidikan Luar Biasa (YPLB) Blitar),” *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 4, no. 5, Art. no. 5, Sep. 2024, doi: 10.31004/innovative.v4i5.15199.
- [9] E. Altirika and W. P. Sari, “Pengembangan Deteksi Realtime untuk Bahasa Isyarat Indonesia dengan Menggunakan Metode Deep Learning Long Short Term Memory dan Convolutional Neural Network,” *J. Teknol. Inform. Dan Komput.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–13, Mar. 2023, doi: 10.37012/jtik.v9i1.1272.
- [10] N. Renaningtias, F. P. Utama, and A. N. A. Sobri, “Deteksi Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) Pada Video dengan YOLOv7,” vol. 8, no. 1, 2025.
- [11] D. komputer melihat dunia *et al.*, “Apa itu Computer Vision?,” Intel. Accessed: Feb. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.intel.com/content/www/id/id/learn/what-is-computer-vision.html>
- [12] “Computer Vision Meaning, Examples, Applications,” Spiceworks Inc. Accessed: Feb. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.spiceworks.com/tech/artificial-intelligence/articles/what-is-computer-vision/>
- [13] “(PDF) A Survey on Optimized Implementation of Deep Learning Models on the NVIDIA Jetson Platform.” Accessed: Jul. 14, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/329802520_A_Survey_on_Optimized_I_mplementation_of_Deep_Learning_Models_on_the_NVIDIA_Jetson_Platform
- [14] S. Kornblith, M. Norouzi, H. Lee, and G. Hinton, “Similarity of Neural Network Representations Revisited,” in *Proceedings of the 36th International Conference on*

- Machine Learning*, PMLR, May 2019, pp. 3519–3529. Accessed: Jul. 14, 2025. [Online]. Available: <https://proceedings.mlr.press/v97/kornblith19a.html>
- [15] A. E. Wijaya, W. Swastika, and O. H. Kelana, “Implementasi Transfer Learning Pada Convolutional Neural Network Untuk Diagnosis Covid-19 Dan Pneumonia Pada Citra X-Ray,” *Sainsbertek J. Ilm. Sains Teknol.*, vol. 2, no. 1, pp. 10–15, Sep. 2021, doi: 10.33479/sb.v2i1.125.
- [16] “Mengenal Dua Jenis Bahasa Isyarat, BISINDO vs SIBI – Translexi.” Accessed: Feb. 17, 2025. [Online]. Available: <https://translexi.id/mengenal-dua-jenis-bahasa-isyarat-bisindo-vs-sibi/>
- [17] “Apa itu Deteksi Objek? | IBM.” Accessed: Feb. 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/id-id/topics/object-detection>
- [18] “What is TensorFlow?,” NVIDIA Data Science Glossary. Accessed: Feb. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.nvidia.com/en-us/glossary/tensorflow/>
- [19] “Jetson Nano de NVIDIA,” NVIDIA. Accessed: Jul. 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.nvidia.com/es-la/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-nano/product-development/>
- [20] “NVIDIA Jetson Nano,” NVIDIA. Accessed: Jul. 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.nvidia.com/en-us/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-nano/product-development/>
- [21] H. V. Pham, T. G. Tran, C. D. Le, A. D. Le, and H. B. Vo, “Benchmarking Jetson Edge Devices with an End-to-end Video-based Anomaly Detection System,” 2024, pp. 358–374. doi: 10.1007/978-3-031-53963-3_25.
- [22] A. W. Amanda, “Apa itu Webcam? Inilah Fungsi dan 3 Jenisnya,” Edavos. Accessed: Feb. 10, 2025. [Online]. Available: <https://edavos.com/apa-itu-webcam/>
- [23] A. Poer, “Apa itu Webcam? Ini Fungsi, Fitur, Tipe, dan Cara Kerjanya,” DatascripMall.ID. Accessed: Feb. 10, 2025. [Online]. Available: <https://datascripmall.id/blog/webcam/>
- [24] “Project Jupyter.” Accessed: Feb. 14, 2025. [Online]. Available: <https://jupyter.org>
- [25] “pygame news.” Accessed: Jul. 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.pygame.org/news>
- [26] “Pygame Front Page — pygame v2.6.0 documentation.” Accessed: Jul. 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.pygame.org/docs/>
- [27] “What Is The Best Touchscreen Display for NVIDIA Jetson in 2025? - Reshine Display.” Accessed: Jul. 14, 2025. [Online]. Available: https://www.reshine-display.com/what-is-the-best-touchscreen-display-for-nvidia-jetson-in-2025.html?utm_source=chatgpt.com
- [28] “5inch Capacitive Touch Screen LCD (H), 800×480, HDMI (Waveshare).” Accessed: Jul. 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.rhydolabz.com/5inch-Capacitive-Touch-Screen-LCD-H-800-480-HDMI>