

Implementasi *Deep Learning* untuk Penerjemahan Bahasa Isyarat ke Bahasa Jawa Menggunakan Metode YOLO

Mochamad Fadli Nurrahman¹, Bambang Minto Basuki², Anang Habibi³

^{1,2,3}Fakultas Teknik, Prodi Teknik Elektro Universitas Islam Malang

22001053012@unisma.ac.id, bambang.minto@unisma.ac.id, ananghabibi@unisma.ac.id

Abstract

This study aimed to implement deep learning techniques in the analysis of sign language movements for automatic translation into Javanese within everyday conversation contexts. Indonesian Sign Language (BISINDO) was chosen as the research object due to the complexity of translating it into spoken language. The YOLO method was utilized to detect sign language movements in real-time video, translating them into Javanese. Annotated sign language data were used to train the system, resulting in accurate translation outcomes. Findings indicated that the system successfully detected and translated sign language with high accuracy and speed, with an average detection time of less than 150 ms. This study is expected to enhance communication accessibility for individuals with disabilities and create opportunities to develop similar applications for other sign languages.

Keywords : Sign Language, Deep Learning, YOLO, Javanese

Abstraksi

Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan teknik pembelajaran mendalam pada analisis gerakan bahasa isyarat untuk terjemahan otomatis ke dalam bahasa Jawa dalam konteks percakapan sehari-hari. Bahasa isyarat Indonesia (BISINDO) dipilih sebagai objek penelitian karena tantangan dalam menerjemahkannya ke bahasa lisan yang cukup kompleks. Metode YOLO digunakan untuk mendeteksi gerakan bahasa isyarat dalam video secara langsung dan mengubahnya menjadi bahasa Jawa. Data bahasa isyarat yang telah dianotasi digunakan dalam pelatihan sistem untuk mencapai hasil terjemahan yang akurat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi dan menerjemahkan bahasa isyarat dengan akurasi dan kecepatan tinggi, dengan rata-rata waktu deteksi kurang dari 150 ms. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan aksesibilitas komunikasi bagi penyandang disabilitas, serta membuka peluang pengembangan aplikasi serupa untuk bahasa isyarat lain.

Kata kunci : Bahasa Isyarat, Deep Learning, YOLO, Bahasa Jawa

I. PENDAHULUAN

Dalam era digital yang terus berkembang pesat, teknologi deep learning telah terbukti menjadi solusi yang efektif dalam berbagai bidang, termasuk dalam penerjemahan otomatis bahasa isyarat. Bahasa isyarat merupakan bentuk komunikasi non-verbal yang digunakan oleh komunitas tunarungu untuk berinteraksi dengan lingkungan sekitar. Meskipun demikian, proses penerjemahan bahasa isyarat ke dalam bahasa lisan masih menghadapi banyak tantangan, terutama karena kompleksitas gerakan dan perbedaan antara berbagai jenis bahasa isyarat yang ada. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan teknik deep learning dengan metode You Only Look Once (YOLO) dalam menganalisis gerakan bahasa isyarat untuk

diterjemahkan ke dalam bahasa Jawa, dengan fokus pada konteks berkenalan [1][2].

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengidentifikasi berbagai pendekatan dalam menerjemahkan bahasa isyarat. Misalnya, YOLO dipilih dalam penelitian ini karena efisiensinya dalam mendeteksi gerakan dengan cepat, menjadikannya pilihan ideal untuk sistem yang memerlukan waktu respons yang rendah dalam deteksi gerakan [3]. Berbeda dengan model-model sebelumnya yang menggunakan teknik lain seperti Artificial Neural Networks (ANN) atau Convolutional Neural Networks (CNN), YOLO memungkinkan deteksi objek secara real-time dan multi-class dengan akurasi tinggi, yang sangat penting dalam penerjemahan bahasa isyarat yang

beragam. Dengan menggunakan dataset yang telah dianotasi secara tepat, sistem ini diharapkan dapat memahami dan menerjemahkan gerakan bahasa isyarat dengan akurasi yang lebih baik, terutama dalam konteks sosial yang umum, seperti berkenalan [4].

Sementara itu, penelitian oleh Riestiya Zain Fadillah dkk. (2022) menunjukkan bahwa transfer learning dari model American Sign Language (ASL) ke Bisindo menghasilkan akurasi yang rendah, hanya sekitar 30%, akibat perbedaan karakteristik antara kedua bahasa isyarat tersebut [5]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Fini Keni Celsia dan Green Arther Sandag (2021) menggunakan ANN dan CNN untuk mengklasifikasikan bahasa isyarat dengan akurasi 94,5%, tetapi hanya terbatas pada pengenalan angka dalam bahasa Bisindo [6]. Berbeda dengan penelitian-penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memperluas ruang lingkup deteksi ke dalam pengenalan kata-kata pengenalan dalam bahasa Jawa, yang memiliki karakteristik berbeda dan memerlukan pendekatan yang lebih spesifik.

Pada penelitian oleh Febry Prapaskah Rino dkk (2020) menyatakan bahwa remaja tunarungu mempunyai kebutuhan yang cukup tinggi atas kebebasan (need of autonomy), ketergantungan (need of succorance), perhatian, dan dukungan (need of exhibition). Namun, ada kebutuhan mereka yang terhambat pemenuhannya yaitu kebutuhan untuk berprestasi (need of achievement) [7]. Hal ini menunjukkan bahwa selain tantangan dalam komunikasi, remaja tunarungu juga menghadapi kendala dalam mencapai prestasi. Dalam penelitian Reza Haris Alfikri dkk. (2022) mengembangkan model penerjemah menggunakan CNN dengan dataset yang lebih besar, yaitu 1820 data bahasa isyarat, namun belum memanfaatkan kemampuan YOLO dalam deteksi objek real-time dan multi-class yang lebih fleksibel dan skalabel [8]. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam penggunaan YOLO untuk mempercepat proses penerjemahan bahasa isyarat dan meningkatkan akurasi dalam pengenalan gerakan untuk kata-kata yang lebih kompleks, seperti kata-kata pengenalan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengurangi hambatan komunikasi yang dihadapi oleh komunitas tunarungu dan memperbaiki tingkat partisipasi mereka dalam berbagai situasi sosial dan pendidikan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem penerjemah Bahasa Isyarat Indonesia (Bisindo) ke bahasa Jawa yang lebih komprehensif, dengan harapan dapat meningkatkan komunikasi dan kesejahteraan komunitas tunarungu di Indonesia. Bisindo adalah bahasa isyarat yang digunakan oleh

komunitas Tuli di Indonesia dalam kehidupan sehari-hari, dengan gerakan tangan dan ekspresi wajah yang bervariasi di setiap wilayah. Berbeda dengan Sistem Isyarat Bahasa Indonesia (SIBI) yang mengikuti Ejaan Bahasa Indonesia (EBI), Bisindo lebih menekankan kesederhanaan dan ekspresi yang mencerminkan kejadian yang sedang terjadi, dengan isyarat yang dipengaruhi oleh nilai-nilai lokal [9]. Sementara itu, SIBI lebih baku dan diperkenalkan oleh pemerintah, mengadopsi elemen dari American Sign Language (ASL) dan mengikuti tata bahasa EBI. SIBI banyak digunakan di institusi pendidikan formal, terutama di sekolah inklusif [10].

Walaupun SIBI memiliki struktur yang lebih standar, Bisindo dianggap lebih alami dan banyak digunakan oleh komunitas Tuli karena fleksibilitasnya serta kesesuaiannya dengan budaya lokal. Keberagaman isyarat di berbagai daerah mencerminkan adaptasi Bisindo terhadap lingkungan dan kebiasaan setempat. Bisindo bukan hanya berfungsi sebagai alat komunikasi, tetapi juga sebagai identitas budaya yang mempererat solidaritas di komunitas Tuli. Meskipun SIBI tetap penting dalam konteks pendidikan, peran sosial dan budaya Bisindo tidak dapat digantikan. Oleh karena itu, pengakuan dan pemahaman terhadap kedua sistem isyarat ini sangat penting untuk menciptakan lingkungan yang inklusif bagi komunitas Tuli di Indonesia.

Dalam pengembangan sistem penerjemah Bisindo ke bahasa Jawa, pendekatan Machine Learning (ML) dapat memainkan peran kunci. ML adalah cabang dari Artificial Intelligence (AI) yang berfokus pada pengembangan algoritma untuk mengajarkan komputer agar dapat belajar dari data tanpa pemrograman eksplisit. Melalui penggunaan Machine Learning, model AI dapat mengenali pola, membuat prediksi, dan mengambil keputusan berdasarkan data yang telah dipelajari [11]. Teknologi ini telah diterapkan dalam berbagai bidang, seperti di sektor kesehatan untuk diagnosis, di industri keuangan untuk mendeteksi transaksi mencurigakan, serta di transportasi untuk kendaraan otonom [12]. Oleh karena itu, Machine Learning dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam memperbaiki akurasi sistem penerjemahan Bahasa Isyarat.

Lebih lanjut, pengolahan citra digital dan Computer Vision adalah bidang yang memungkinkan komputer untuk menganalisis citra dan video guna

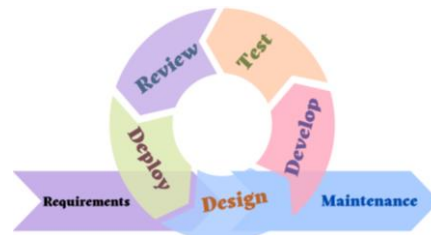
memperoleh informasi tentang objek yang ada. Dengan menggunakan Deep Learning dan AI, teknologi ini dapat mengenali dan menafsirkan gambar seperti yang dilakukan oleh manusia. Computer Vision digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari pengenalan objek, pengolahan gambar medis, hingga navigasi kendaraan otonom [13][14]. Dalam konteks penerjemahan bahasa isyarat, Computer Vision memungkinkan sistem untuk mendeteksi dan mengenali gerakan tangan serta ekspresi wajah yang merupakan bagian dari komunikasi dalam Bisindo.

Bagi anak tunarungu, kehilangan pendengaran menjadi kendala besar dalam perkembangan bahasa dan bicara. Tanpa pendidikan yang khusus, mereka kesulitan dalam memahami dan menggunakan bahasa yang diucapkan, serta menghadapi keterlambatan dalam perkembangan bahasa dan keterampilan berbahasa yang terstruktur, terutama dalam menulis kalimat. Hal ini menghambat kemampuan mereka untuk berkomunikasi dalam konteks sosial dan akademis [15][16]. Oleh karena itu, penerapan teknologi penerjemahan bahasa isyarat otomatis dengan bantuan Machine Learning dan Computer Vision menjadi penting, tidak hanya untuk meningkatkan komunikasi tetapi juga untuk mendukung keberhasilan sosial dan akademik anak tunarungu.

Penelitian ini sangat penting dilakukan karena meskipun teknologi penerjemahan bahasa isyarat sudah berkembang, belum banyak yang mengintegrasikan metode deep learning dengan YOLO untuk menciptakan sistem penerjemahan yang cepat, tepat, dan dapat diterapkan dalam kehidupan sehari-hari, terutama untuk pengenalan kata-kata dalam bahasa Jawa. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangan signifikan dalam pengembangan teknologi inklusif yang mendukung hak-hak komunikasi bagi tunarungu. Diharapkan pula, integrasi teknologi ini ke dalam perangkat sehari-hari dapat memperluas aksesibilitas, meningkatkan kesadaran tentang pentingnya aksesibilitas bagi tunarungu, dan membawa perubahan positif dalam kehidupan mereka.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada perancangan sistem menggunakan metode *Agile*, yang merupakan metode pengembangan yang iteratif dan incremental, metode ini memungkinkan untuk mengembangkan perangkat lunak dalam siklus pengembangan yang pendek (disebut *sprint*) sehingga dapat menyesuaikan dengan perubahan kebutuhan secara cepat [17]. Metode *Agile* memiliki tahapan-tahapan seperti gambar 1.



Gambar 1. Metode Agile

Pada gambar diatas merupakan urutan tahapan dalam pengembangan aplikasi menggunakan metode Agile, adapun untuk langkahnya yang harus dilakukan adalah sebagai berikut :

1. *Requirements* (Kebutuhan): Identifikasi kebutuhan sistem berdasarkan analisis gerakan dalam bahasa isyarat..
2. *Design* (Desain): Merancang arsitektur sistem yang akan menggunakan teknik deep learning dengan YOLO.
3. *Develop* (Pengembangan):
Pengumpulan data: Mengumpulkan dataset gambar Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) yang diperlukan untuk pelatihan model YOLO. Pra-proses data: Melakukan pelabelan data untuk mempersiapkan data latihan.
4. *Testing* (Pengujian): Pengujian unit: Menguji komponen-komponen sistem secara terpisah, termasuk model YOLO dan komponen-komponen lainnya. Pengujian integrasi: Menguji integrasi antara deteksi gerakan dan terjemahan teks dalam konteks percakapan sehari-hari. Pengujian sistem: Menguji sistem secara keseluruhan untuk memastikan bahwa sistem berfungsi dengan baik dan sesuai dengan kebutuhan pengguna.
5. *Review* (Pengujian): Meninjau hasil pengujian dengan pengguna. Mendapatkan umpan balik untuk perbaikan dan penyesuaian lanjutan. Evaluasi performa sistem dan kualitas terjemahan berdasarkan umpan balik pengguna.
6. *Deploy* (Implementasi) : Implementasi sistem ke lingkungan produksi atau simulasi untuk pengujian lebih lanjut. Memastikan bahwa sistem siap digunakan oleh pengguna akhir.
7. *Maintenance* (Pemeliharaan) : Memantau kinerja sistem secara berkala dan menangani masalah yang muncul. Melakukan perbaikan dan pembaruan

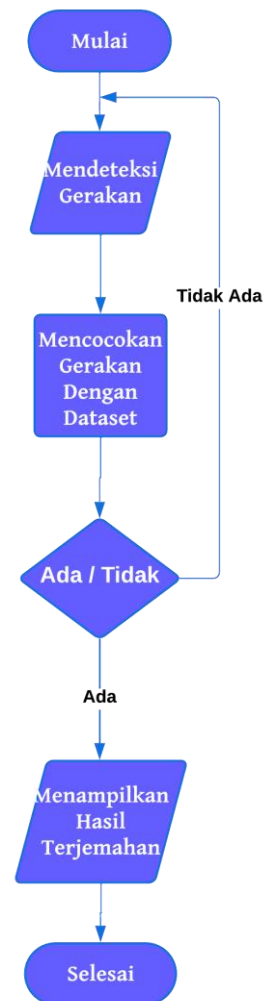
berdasarkan umpan balik pengguna dan perkembangan teknologi. Menyediakan dukungan dan pemeliharaan berkelanjutan untuk sistem yang diimplementasikan.

Dengan menerapkan metodologi Agile dengan tahapan-tahapan yang terstruktur ini, diharapkan proyek implementasi deep learning menggunakan YOLO untuk analisis gerakan bahasa isyarat dan terjemahan otomatis ke bahasa Jawa dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Rancangan Sistem

Dalam pembuatan sistem, perancangan sistem memiliki peran penting sebagai panduan awal untuk memudahkan proses pembuatan sistem yang diinginkan. Hal ini membantu dalam mengidentifikasi komponen-komponen utama, hubungan antar komponen, serta alur kerja sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, perancangan sistem tidak hanya menjadi panduan bagi pengembang, tetapi juga sebagai alat komunikasi yang efektif dalam menggambarkan visi dan tujuan sistem pengembang. Diagram sistem, seperti pada gambar 2 yang digambarkan oleh penulis, memberikan gambaran kasar tentang struktur dan fungsi sistem yang akan dikembangkan.



Gambar 2. Diagram Sistem

Dari gambar 2 diagram sistem, menggambarkan sebuah alur rancangan sistem yang akan digunakan, dengan penjelasan pada beberapa point sebagai berikut :

1. Mendeteksi Gerakan
Sistem akan mendeteksi gerakan-gerakan bahasa isyarat yang dilakukan oleh pengguna.
2. Mencocokkan Gerakan
Gerakan yang telah di deteksi akan disimpan sementara oleh sistem, lalu sistem akan mencocokkan gerakan yang terdeteksi dengan model gerakan yang ada dalam dataset.
3. Ada / Tidak
Apabila gerakan yang terdeteksi tidak cocok atau tidak ada dalam dataset, maka system akan mendeteksi gerakan lain dari user hingga mendapatkan gerakan yang ada seperti gerakan model dalam dataset.
4. Menampilkan hasil
Apabila gerakan yang terdeteksi cocok dengan gerakan model yang ada dalam dataset, maka system akan langsung

menampilkan hasil terjemahan dari gerakan tersebut sesuai dengan gerakan yang dilakukan

3.2 Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem adalah tahap krusial dalam pengembangan aplikasi untuk memastikan kinerja yang optimal sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Dalam penelitian "Implementasi Deep Learning untuk Penerjemahan Bahasa Isyarat ke Bahasa Jawa Menggunakan Metode YOLO," pengujian sistem dilakukan dengan metode yang terstruktur. Aplikasi ini menggunakan YOLO untuk deteksi gerakan isyarat secara akurat, memvalidasi kemampuan sistem dalam mengidentifikasi dan menginterpretasi gerakan isyarat dalam konteks bahasa Jawa. Disini, penulis melakukan pengujian kepada 10 subjek yang berbeda untuk mengetahui apakah program sudah dapat mendeteksi dan mengartikan bahasa isyarat dengan tepat. Hasil dari pengujian ini penting untuk mengevaluasi kehandalan sistem dalam aplikasi praktis, memastikan bahwa aplikasi dapat memberikan hasil terjemahan yang tepat dan sesuai dengan konteks percakapan sehari-hari dalam bahasa isyarat.

3.2.1 Pengujian Kata Mboten

Tabel 1 Pengujian Kata Mboten

Percobaan	Waktu (ms)	Kata yang Terdeteksi
1	129.0	Mboten
2	133.9	Mboten
3	142.1	Mboten
4	132.2	Mboten
5	157.9	Mboten
6	131.1	Mboten
7	153.4	Mboten
8	130.9	Mboten
9	143.2	Mboten
10	133.6	Mboten

Dari 15 pengujian yang telah dilakukan, sistem telah berhasil menganalisis kata "Mboten" dengan baik dan dalam waktu yang cukup cepat. Rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk mendeteksi kata tersebut adalah sekitar 138.92 ms, atau kurang lebih 1.39 detik. Hasil ini menunjukkan kinerja sistem yang memuaskan, dan mampu memberikan respons yang efisien.

3.2.2 Pengujian Kata Inggih

Tabel 2 Pengujian Kata Inggih

Percobaan	Waktu (ms)	Kata yang Terdeteksi
1	149.9	Inggih
2	141.4	Inggih
3	141.4	Inggih
4	135.1	Inggih
5	134.5	Inggih
6	144.3	Inggih
7	138.9	Inggih
8	137.5	Inggih
9	143.1	Inggih
10	134.2	Inggih

1	149.9	Inggih
2	141.4	Inggih
3	141.4	Inggih
4	135.1	Inggih
5	134.5	Inggih
6	144.3	Inggih
7	138.9	Inggih
8	137.5	Inggih
9	143.1	Inggih
10	134.2	Inggih

Dari 15 pengujian yang telah dilakukan, sistem telah berhasil menganalisis kata "Inggih" dengan baik dan dalam waktu yang cukup cepat. Rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk mendeteksi kata tersebut adalah sekitar 142.05 ms, atau kurang lebih 1.42 detik. Hasil ini menunjukkan kinerja sistem yang memuaskan, dan mampu memberikan respons yang efisien.

3.2.3 Pengujian Kata Jeneng

Tabel 3 Pengujian Kata Jeneng

Percobaan	Waktu (ms)	Kata yang Terdeteksi
1	139.1	Jeneng
2	135.9	Jeneng
3	143.0	Jeneng
4	132.1	Jeneng
5	143.9	Jeneng
6	132.0	Jeneng
7	145.0	Jeneng
8	144.0	Jeneng
9	143.4	Jeneng
10	135.1	Jeneng

Dari 15 pengujian yang telah dilakukan, sistem telah berhasil menganalisis kata "Jeneng" dengan baik dan dalam waktu yang cukup cepat. Rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk mendeteksi kata tersebut adalah sekitar 143.61 ms, atau kurang lebih 1.44 detik. Hasil ini menunjukkan kinerja sistem yang memuaskan, dan mampu memberikan respons yang efisien.

3.2.4 Pengujian Kata Kowe

Tabel 4 Pengujian Kata Kowe

Percobaan	Waktu (ms)	Kata yang Terdeteksi
1	130.1	Kowe
2	157.5	Perkenalkan
3	137.1	Kowe

4	137.3	Kowe
5	143.1	Perkenalkan
6	140.1	Kowe
7	130.1	Kowe
8	129.7	Kowe
9	137.8	Kowe
10	126.9	Kowe

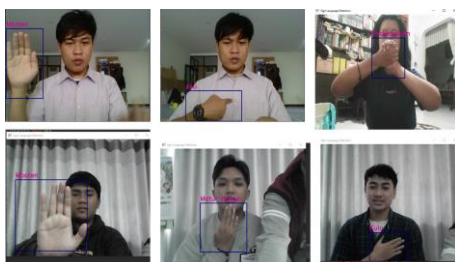
Dari 15 pengujian yang telah dilakukan, sistem berhasil mendeteksi kata "Kowe" sebanyak 13 kali dengan akurasi yang baik, dengan waktu rata-rata deteksi sekitar 141.36 ms, atau sekitar 1.41 detik. Meskipun demikian, terdapat dua kali salah deteksi di mana sistem mendeteksi kata "Perkenalkan." Hal ini menunjukkan bahwa meskipun sistem telah menunjukkan performa yang memuaskan, masih ada ruang untuk perbaikan. Kesalahan deteksi ini kemungkinan disebabkan oleh kemiripan dalam pola gerakan antara kata "Kowe" dan "Perkenalkan."

3.2.5 Pengujian Kata Kulo

Tabel 5 Pengujian Kata Kulo

Percobaan	Waktu (ms)	Kata yang Terdeteksi
1	156.0	Kulo
2	161.0	Kulo
3	154.9	Kulo
4	163.0	Kulo
5	144.2	Kulo
6	135.0	Kulo
7	143.8	Kulo
8	164.2	Kulo
9	136.0	Kulo
10	139.0	Kulo

Dari 15 pengujian yang telah dilakukan, sistem telah berhasil menganalisis kata "Kulo" dengan baik dan dalam waktu yang cukup cepat. Rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk mendeteksi kata tersebut adalah sekitar 143.66 ms, atau kurang lebih 1.44 detik. Hasil ini menunjukkan kinerja sistem yang memuaskan, dan mampu memberikan respons yang efisien.



Gambar 3. Hasil Pengujian

Dapat dilihat dari hasil hasil pengujian di atas bahwa program telah dapat mendeteksi dan mengartikan gerakan bahasa isyarat menjadi bahasa Jawa dengan akurasi yang tinggi. Program ini menunjukkan kemampuan yang konsisten dalam mengidentifikasi gerakan isyarat dan menerjemahkannya secara akurat, memberikan hasil yang memuaskan dalam berbagai kondisi uji. Namun, faktor-faktor seperti intensitas cahaya yang gelap atau terang serta gerakan tangan yang kurang jelas terbukti dapat mempengaruhi kemampuan pendeteksian gerakan oleh sistem. Pencahayaan yang tidak merata dapat menyebabkan bayangan atau refleksi yang mengaburkan gerakan tangan, sementara gerakan yang kurang jelas atau terlalu cepat dapat menyebabkan kesalahan dalam identifikasi. Meskipun demikian, secara keseluruhan, sistem ini menunjukkan performa yang baik dan dapat diandalkan dalam kondisi yang optimal, memberikan harapan besar untuk aplikasi praktis dalam kehidupan sehari-hari.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem yang mampu mendeteksi dan menerjemahkan gerakan Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) ke dalam Bahasa Jawa secara otomatis menggunakan teknologi deep learning dan metode YOLO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode YOLO efektif dalam mengenali pola gerakan isyarat yang kompleks dengan tingkat akurasi yang tinggi dan waktu deteksi yang cepat. Sistem ini dapat menerjemahkan gerakan bahasa isyarat ke dalam Bahasa Jawa secara akurat, sehingga mempermudah komunikasi antara pengguna bahasa isyarat dan penutur Bahasa Jawa. Pengujian sistem di berbagai kondisi menunjukkan kinerja yang baik meskipun ada beberapa kesalahan deteksi dalam gerakan yang mirip. Secara keseluruhan, sistem ini menunjukkan potensi besar untuk mendukung komunikasi sehari-hari antara komunitas tunarungu dan masyarakat luas.

Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa pengembangan lebih lanjut perlu dilakukan untuk meningkatkan akurasi dan fungsionalitas sistem. Pertama, penting untuk mengatasi tantangan deteksi gerakan dalam kondisi lingkungan yang beragam, seperti pencahayaan yang tidak optimal

atau latar belakang yang kompleks. Kedua, penambahan dataset yang mencakup lebih banyak variasi gerakan dan menambahkan fitur untuk menganalisa mimik wajah dan gerakan mulut sehingga dapat memungkinkan sistem untuk lebih efektif dalam menerjemahkan bahasa isyarat. Selain itu, pengujian sistem di lingkungan nyata seperti sekolah inklusi atau komunitas tunarungu juga disarankan untuk memperoleh umpan balik lebih komprehensif. Terakhir, integrasi sistem dengan teknologi lain seperti augmented reality (AR) atau perangkat wearable dapat meningkatkan fungsionalitas, membuat terjemahan lebih mudah diakses dan langsung digunakan dalam interaksi sehari-hari. Dengan adanya perbaikan dan pengembangan lebih lanjut, diharapkan sistem ini dapat menjadi solusi komunikasi yang lebih inklusif bagi komunitas tunarungu di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Harefa, et al., Buku Ajar Teori Belajar dan Pembelajaran, Jambi: PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2024.
- [2] D. K. Maulida, Bahasa Isyarat Indonesia di Komunitas Gerakan untuk Kesejahteraan Tunarungu Indonesia, Jakarta, 2017.
- [3] A. Ma'ruf and M. Hardjianto, "Penerapan Algoritme You Only Look Once Version 8 untuk Identifikasi Abjad Bahasa Isyarat Indonesia," *Seminar Nasional Mahasiswa Fakultas Teknologi Informasi (SENAFTI)*, 2023.
- [4] A. S. Nugraheni, A. P. Husain, and H. Unayah, "Optimalisasi Penggunaan Bahasa Isyarat dengan SIBI dan BISINDO pada Mahasiswa Difabel Tunarungu di Prodi PGMI UIN Sunan Kalijaga," *Holistika Jurnal Ilmiah PGSD*, 2021.
- [5] R. Z. Fadillah, A. Irawan, and M. Susanty, "Model Penerjemah Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO)," *PETIR: Jurnal Pengkajian dan Penerapan Teknik Informatik*, 2022.
- [6] F. K. Celsia and G. A. Sandag, "Implementasi Deep Learning pada Pengenalan Angka," *Jurnal Sisfotenika*, 2021.
- [7] F. R. Prapaskah, S. Maryam, and A. Priliantini, "Komunikasi Interpersonal Guru dalam Meningkatkan Motivasi Berprestasi Remaja Tunarungu," *Jurnal Penelitian Komunikasi*, 2020.
- [8] R. H. Alfikri, M. S. Utomo, H. Februariyanti, and E. Nurwahyudi, "Pembangunan Aplikasi Penerjemah Bahasa Isyarat dengan Metode CNN Berbasis Android," *Jurnal Teknoinfo*, 2022.
- [9] R. A. Mursita, "Respon Tunarungu terhadap Penggunaan Sistem Bahasa Isyarat Indonesia (SIBI) dan Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) dalam Komunikasi Inklusi," 2015.
- [10] L. Arisandi and B. Satya, "Sistem Klarifikasi Bahasa Isyarat Indonesia (Bisindo) dengan Menggunakan Algoritma Convolutional Neural Network," *Jurnal Sistem Cerdas*, 2022.
- [11] G. N. Elwirehardja, T. Suparyanto, and B. Pardamean, "Pengenalan Konsep Machine Learning untuk Pemula," Depok, Sleman: Instiper Press, 2022.
- [12] R. K. Dinata and N. Hasdyna, "Machine Learning," Lhokseumawe: Unimal Press, 2020.
- [13] Y. F. M. Yuwono, B. Boedi, and P. D. Yanu, "Dasar Pengolahan Citra Digital Edisi 2022," Sleman: Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, 2022.
- [14] A. Arnita, F. Marpaung, F. Aulia, and R. C. Nabila, "Computer Vision dan Pengolahan Citra Digital," Surabaya: Pustaka Aksara, 2022.
- [15] R. A. Indah, "Metode Bermain Peran terhadap Kemampuan Bahasa Ekspresif Anak Tunarungu," *Jurnal Pendidikan Khusus*, vol. 2, 2016.
- [16] F. D. Fibrianti and A. Wijastuti, "Pengembangan Media Pola Kalimat Sederhana Berbasis Android pada Pembelajaran Sains untuk Siswa Tunarungu," *Jurnal Pendidikan Khusus*, 2020.
- [17] A. N. Yusril, I. Larasati, and P. A. Zukri, "Systematic Literature Review Analisis Metode Agile dalam Pengembangan Aplikasi Mobile," *SISTEMASI: Jurnal Sistem Informasi*, 2021.