JURNAL INTI TALAFA ISSN: 2085-0573
Vol.17 No.2, Juli - Desember 2025, pp. 191 – 201 EISSN: 2829-1506

SISTEM PENERJEMAH SEDERHANA BISINDO MENGGUNAKAN MEDIAPIPE HOLISTIC, LSTM, DAN RULE-BASED NLP

Nisa Maharani[1], Agust Isa Martinus[2], Muhamad Imam[3]
[1,2,3] Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Cirebon
e-mail: [1]nisamaharani746@gmail.com, [2]agust.isa@umc.ac.id, [3]muhamad_imam@umc.ac.id

Abstrak

Bahasa Isyarat Indonesia (Bisindo) berperan penting sebagai media komunikasi komunitas tuli, namun pemahaman masyarakat terhadap bahasa ini masih rendah. Penelitian sebelumnya umumnya terbatas pada deteksi isyarat per kata tanpa pemrosesan lanjutan menggunakan Natural Language Processing (NLP) maupun integrasi ke dalam aplikasi. Penelitian ini mengembangkan prototipe sistem penerjemah sederhana Bisindo yang mampu mengenali gerakan isyarat dan menampilkannya dalam bentuk teks. Sistem memanfaatkan MediaPipe Holistic untuk mengekstraksi titik landmark tubuh, tangan, dan wajah, yang kemudian diklasifikasikan menggunakan model Long Short-Term Memory (LSTM). Hasil klasifikasi diproses lebih lanjut dengan metode NLP berbasis aturan (rule-based) untuk menyusun kalimat sederhana yang bermakna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat mengenali beberapa isyarat dasar dengan baik, meskipun akurasi menurun pada kondisi pencahayaan ekstrem akibat keterbatasan MediaPipe dalam mendeteksi landmark secara konsisten. Penelitian ini memberikan kontribusi awal dalam pengembangan teknologi penerjemah Bisindo berbasis kecerdasan buatan, serta berpotensi menjadi dasar untuk penelitian lanjutan menuju sistem penerjemah yang lebih andal dan aplikatif.

Kata kunci: Bahasa Isyarat Indonesia, MediaPipe Holistic, LSTM, Machine Learning, Rule-based NLP

Abstract

Indonesian Sign Language (Bisindo) plays an important role as a means of communication for the deaf community, but public understanding of this language is still low. Previous research has generally been limited to word-by-word sign detection without further processing using Natural Language Processing (NLP) or integration into applications. This study developed a prototype of a simple Bisindo translation system that is capable of recognizing sign movements and displaying them in text form. The system utilizes MediaPipe Holistic to extract body, hand, and face landmarks, which are then classified using a Long Short-Term Memory (LSTM) model. The classification results are further processed with a rule-based NLP method to compose simple, meaningful sentences. Test results show that the system can recognize several basic signs well, although accuracy decreases in extreme lighting conditions due to MediaPipe's limitations in detecting landmarks consistently. This research provides an initial contribution to the development of artificial intelligence-based Bisindo translation technology and has the potential to become the basis for further research towards a more reliable and applicable translation system.

Keywords*: Indonesian Sign Language, MediaPipe Holistic, LSTM, Machine Learning, Rule-based NLP*

1. PENDAHULUAN

Komunikasi merupakan aspek fundamental dalam kehidupan manusia karena berfungsi untuk membangun relasi, berbagi informasi, dan mengarahkan tindakan. Bagi penyandang disabilitas pendengaran dan bicara, komunikasi verbal menjadi hambatan utama. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2019, terdapat sekitar 1,82 juta penyandang tunarungu di Indonesia dari total 268 juta penduduk [1]. Jumlah ini menunjukkan bahwa komunitas tuli merupakan bagian signifikan masyarakat yang membutuhkan akses komunikasi setara.

Bahasa isyarat menjadi sarana utama komunitas tuli dalam berinteraksi. Di Indonesia, Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) digunakan dengan memadukan gerakan tangan, ekspresi wajah, dan bahasa tubuh agar pesan tersampaikan secara tepat [2]. Namun, keterbatasan penguasaan BISINDO di masyarakat menyebabkan terjadinya kesenjangan komunikasi antara penyandang disabilitas dan orang umum. Upaya memahami BISINDO tidak hanya bermanfaat untuk komunikasi, tetapi juga menciptakan masyarakat yang inklusif dan saling menghargai.

Perkembangan teknologi berbasis kecerdasan buatan (AI) membuka peluang dalam pengembangan sistem penerjemah bahasa isyarat. MediaPipe Holistic dari Google memungkinkan deteksi pose tubuh, tangan, dan wajah secara real-time. Untuk memproses pola gerakan sekuensial, algoritma Long Short-Term Memory (LSTM) digunakan, sedangkan interpretasi hasil prediksi menjadi kalimat sederhana dapat dilakukan melalui Natural Language Processing (NLP) berbasis aturan.

Penelitian terdahulu telah berfokus pada deteksi isyarat per kata, seperti penelitian Aliyah (2022) dengan akurasi 77,8% pada tiga kosa kata dasar [3], serta Ariansyah (2024) dengan YOLOv8 yang mencapai akurasi 93,8% pada 50 kosa kata. Namun, kedua penelitian tersebut belum mengintegrasikan pemrosesan linguistik untuk membentuk struktur kalimat [4].

Penelitian ini mengembangkan prototipe sistem penerjemah BISINDO yang memanfaatkan MediaPipe Holistic, LSTM, dan NLP berbasis aturan. Sistem ini diimplementasikan pada aplikasi berbasis web agar lebih mudah diakses oleh pengguna. Meskipun masih memiliki keterbatasan dalam mendeteksi isyarat pada kondisi tertentu, sistem ini berpotensi digunakan sebagai media pembelajaran BISINDO bagi pemula, sekaligus menjadi langkah awal menuju pengembangan penerjemah bahasa isyarat yang lebih inklusif dan praktis.

2. METODE PENELITIAN

Data diperoleh melalui studi literatur dan dokumentasi. Studi literatur dilakukan dengan menganalisis jurnal, artikel, video, serta sumber lain terkait Bisindo, Mediapipe Holistic, LSTM, dan rule-based NLP. Hasilnya digunakan untuk menentukan metode, teknologi, serta pola kalimat Bisindo. Dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan video gerakan Bisindo dari Kaggle, YouTube, dan perekaman mandiri sebagai dataset pelatihan model.

Metode Pengembangan Sistem Penelitian ini menggunakan dua pendekatan, yaitu CRISP-DM dan Waterfall.

a. CRISP-DM

Digunakan karena penelitian melibatkan pengolahan data, pelatihan model, hingga penerapan aplikasi ***[5]***. Tahapannya meliputi:

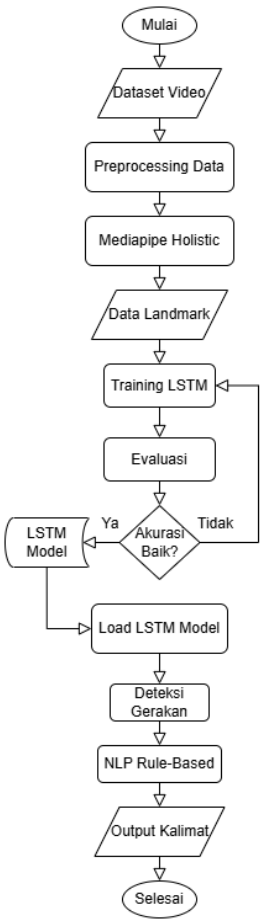
1) Business Understanding: merumuskan kebutuhan pengguna, yaitu aplikasi pembelajaran Bisindo sederhana.
2) Data Understanding: mengidentifikasi kualitas dan variasi video dataset.
3) Data Preparation: ekstraksi fitur dengan Mediapipe Holistic dan konversi ke format pelatihan.
4) Modeling: pelatihan model LSTM dan NLP rule-based.

5) Evaluation: mengukur kinerja model dengan akurasi dan confusion matrix.
6) Deployment: integrasi model ke aplikasi web berbasis Flask dengan Firebase sebagai penyimpanan dan autentikasi.

b. Waterfall

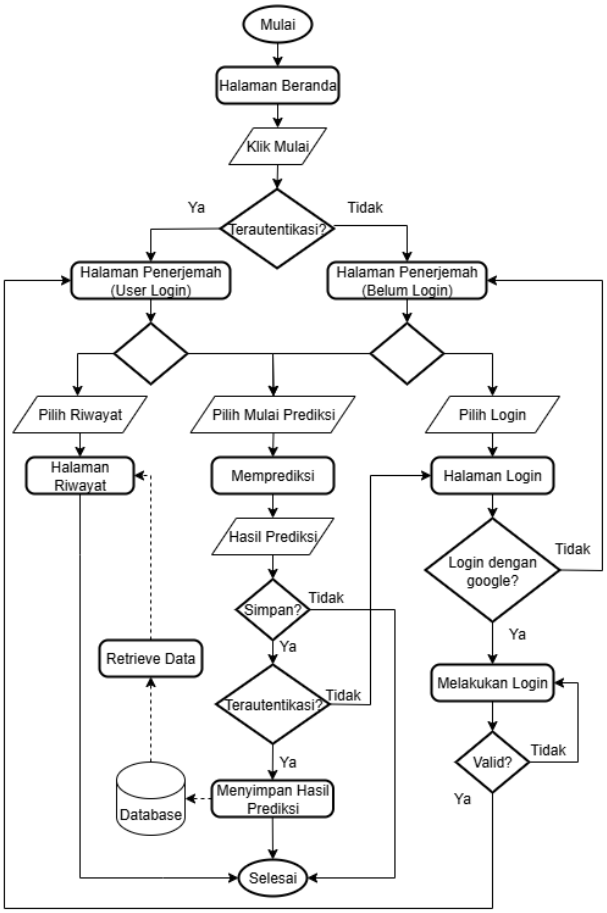
Waterfall digunakan dalam pembangunan aplikasi dengan tahapan: System Engineering, Requirement Analysis, Design, Implementation, Testing, dan Maintenance ***[6]***.

Alur pengembangan model dalam penelitian ini divisualisasikan pada Gambar 1. Flowchart di bawah ini menunjukkan tahapan mulai dari pengumpulan dataset video, preprocessing, ekstraksi fitur menggunakan Mediapipe Holistic, hingga pelatihan model LSTM. Setelah melalui evaluasi, model yang memenuhi kriteria akurasi kemudian diintegrasikan ke sistem untuk mendeteksi gerakan dan menghasilkan output kalimat dengan pendekatan NLP rule-based.



Gambar 1 Flowchart Alur Kerja Sistem Penerjemah

Selain alur pengembangan model, penelitian ini juga menggambarkan alur kerja sistem aplikasi yang dibangun. Flowchart pada Gambar 2 menunjukkan interaksi pengguna dengan sistem, mulai dari proses autentikasi, penggunaan fitur penerjemah, prediksi gerakan, hingga penyimpanan dan penampilan riwayat hasil prediksi. Diagram ini membantu memperjelas bagaimana model yang telah dilatih diintegrasikan ke dalam aplikasi sehingga dapat digunakan secara langsung oleh pengguna.



Gambar 2 Flowchart Sistem

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil dari implementasi dan pengujian sistem penerjemah Bisindo yang telah dibangun. Hasil mencakup performa model yang dilatih menggunakan LSTM berdasarkan data landmark dari Mediapipe Holistic, serta integrasi dengan NLP rule-based untuk menghasilkan kalimat sederhana.

a. Pengumpulan Data

Dataset dikumpulkan dari tiga sumber utama, yaitu Kaggle [7], YouTube (konten pembelajaran Bisindo dari teman Tuli) [8] [9], serta perekaman mandiri untuk melengkapi kelas yang belum tersedia. Dataset terdiri dari 71 kelas gestur mencakup huruf dan kata dasar, dengan rata-rata 50 video per kelas, sehingga total 3.550 video.

Kemudian tahap preprocessing dilakukan untuk menyiapkan data sebelum pelatihan model. Seluruh video dipotong untuk mempermudah klasifikasi gerakan, setelah itu data video diperluas menggunakan teknik horizontal flip untuk menggandakan jumlah sampel tanpa mengubah makna gerakan. Metode ini efektif meningkatkan variasi orientasi tangan dan kemampuan generalisasi model. Kemudian dipilih 5 frame utama dari setiap video menggunakan script OpenCV. Pemilihan frame ini bertujuan menyederhanakan data sekaligus mempercepat proses ekstraksi landmark dengan Mediapipe Holistic serta pelatihan LSTM.

Tahap selanjutnya data diproses dengan Mediapipe Holistic untuk mengekstraksi landmark tangan kiri, tangan kanan, dan bibir. Titik koordinat dinormalisasi terhadap posisi dan lebar bahu agar konsisten terhadap variasi jarak kamera maupun ukuran tubuh. Seluruh

fitur kemudian digabung menjadi vektor berdimensi tetap dan disimpan dalam format CSV sebagai input pelatihan model.

Tabel 1 Rincian Data Pelatihan Model LSTM

Dataset	Split	Jumlah
Data training	80%	5680
Data testing	20%	1420
Total		7100

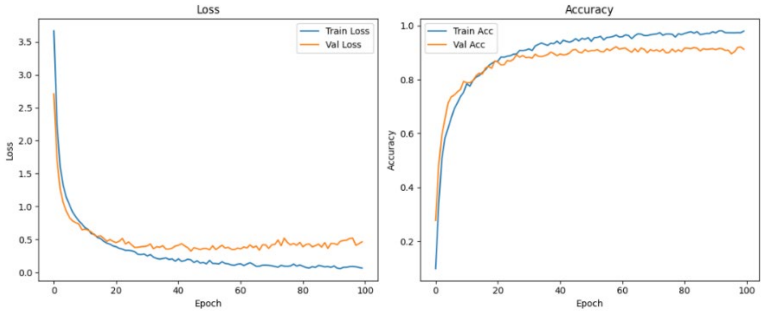
b. Model LSTM

Model klasifikasi gestur dibangun menggunakan jaringan LSTM karena mampu menangkap dependensi temporal pada urutan landmark. Input berupa array yang merepresentasikan koordinat tangan kiri, tangan kanan, dan bibir. Berikut merupakan arsitektur model yang digunakan.

Layer (type)	Output Shape	Param #
lstm_2 (LSTM)	(None, 5, 128)	164,352
dropout_2 (Dropout)	(None, 5, 128)	0
lstm_3 (LSTM)	(None, 64)	49,408
dropout_3 (Dropout)	(None, 64)	0
dense_1 (Dense)	(None, 128)	8,320
dense_2 (Dense)	(None, 71)	9,159

Gambar 3 Arsitekrut Model LSTM

Model LSTM dilatih menggunakan 71 kelas gestur dengan masing-masing 100 video yang telah diproses menjadi urutan landmark. Selama 100 epoch, diperoleh akurasi pelatihan 97,98% dengan loss 0,0678, serta akurasi validasi 91,27% dengan loss 0,4647.

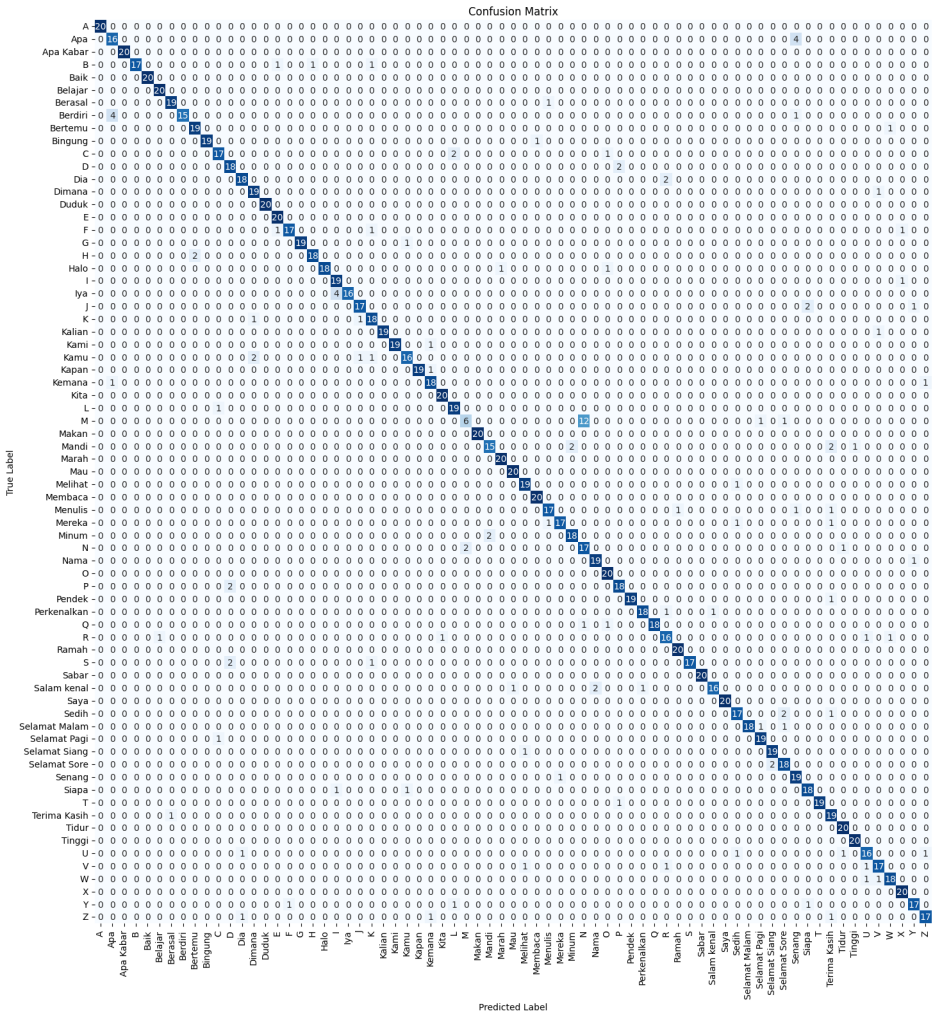


Gambar 4 Grafik Perkembangan Loss dan Accuracy

Grafik akurasi dan loss menunjukkan pola konvergensi yang baik, dengan sedikit gap antara data latih dan validasi yang masih dalam batas wajar, menandakan model mampu melakukan generalisasi dengan cukup baik.

Setelah memperoleh hasil akurasi dan loss pada tahap pelatihan, evaluasi model dilanjutkan dengan analisis confusion matrix untuk melihat performa klasifikasi pada tiap kelas gestur.

ISSN: 2085 xxxx
EISSN: 2829 xxxx



Gambar 5 Confusion Matrix Model LSTM Bisindo

Confusion matrix menunjukkan sebagian besar prediksi berada pada diagonal utama, menandakan model mampu mengenali mayoritas gestur dengan baik. Evaluasi lebih lanjut menghasilkan akurasi keseluruhan 90,84% dengan F1-score rata-rata 90,73%, serta precision dan recall rata-rata di atas 91%. Beberapa kelas seperti “A”, “Apa Kabar”, dan “Saya” dikenali sempurna (F1 = 1,00), sedangkan kelas dengan kemiripan gestur seperti “M” (F1 = 0,43) dan “N” (F1 = 0,68) memiliki performa lebih rendah. Hal ini menunjukkan keterbatasan ekstraksi landmark pada gestur tertentu, namun secara umum model tetap menunjukkan performa yang stabil untuk aplikasi penerjemah Bisindo.

Tabel 2 Evaluasi Model

Kelas	precision	recall	f1-score	support
A	1	1	1	20
Apa	0,761905	0,8	0,780488	20
Apa Kabar	1	1	1	20
B	1	0,85	0,918919	20
Baik	1	1	1	20
Belajar	0,952381	1	0,97561	20
Berasal	0,95	0,95	0,95	20

Berdiri	1	0,75	0,857143	20
Bertemu	0,904762	0,95	0,926829	20
Bingung	1	0,95	0,974359	20
C	0,894737	0,85	0,871795	20
D	0,818182	0,9	0,857143	20
Dia	0,9	0,9	0,9	20
Dimana	0,863636	0,95	0,904762	20
Duduk	1	1	1	20
E	0,909091	1	0,952381	20
F	0,944444	0,85	0,894737	20
G	1	0,95	0,974359	20
H	0,947368	0,9	0,923077	20
Halo	1	0,9	0,947368	20
I	0,791667	0,95	0,863636	20
Iya	1	0,8	0,888889	20
J	0,894737	0,85	0,871795	20
K	0,818182	0,9	0,857143	20
Kalian	1	0,95	0,974359	20
Kami	1	0,95	0,974359	20
Kamu	0,888889	0,8	0,842105	20
Kapan	1	0,95	0,974359	20
Kemana	0,857143	0,9	0,878049	20
Kita	0,952381	1	0,97561	20
L	0,863636	0,95	0,904762	20
M	0,75	0,3	0,428571	20
Makan	1	1	1	20
Mandi	0,882353	0,75	0,810811	20
Marah	0,952381	1	0,97561	20
Mau	0,952381	1	0,97561	20
Melihat	0,904762	0,95	0,926829	20
Membaca	0,952381	1	0,97561	20
Menulis	0,894737	0,85	0,871795	20
Mereka	0,944444	0,85	0,894737	20
Minum	0,9	0,9	0,9	20
N	0,566667	0,85	0,68	20
Nama	0,904762	0,95	0,926829	20
O	0,869565	1	0,930233	20
P	0,857143	0,9	0,878049	20
Pendek	1	0,95	0,974359	20
Perkenalkan	0,947368	0,9	0,923077	20
Q	1	0,9	0,947368	20
R	0,8	0,8	0,8	20
Ramah	0,952381	1	0,97561	20

S	1	0,85	0,918919	20
Sabar	1	1	1	20
Salam kenal	0,941176	0,8	0,864865	20
Saya	1	1	1	20
Sedih	0,85	0,85	0,85	20
Selamat Malam	1	0,9	0,947368	20
Selamat Pagi	0,904762	0,95	0,926829	20
Selamat Siang	0,904762	0,95	0,926829	20
Selamat Sore	0,818182	0,9	0,857143	20
Senang	0,76	0,95	0,844444	20
Siapa	0,857143	0,9	0,878049	20
T	1	0,95	0,974359	20
Terima Kasih	0,730769	0,95	0,826087	20
Tidur	0,909091	1	0,952381	20
Tinggi	0,952381	1	0,97561	20
U	0,842105	0,8	0,820513	20
V	0,85	0,85	0,85	20
W	0,9	0,9	0,9	20
X	0,909091	1	0,952381	20
Y	0,894737	0,85	0,871795	20
Z	0,894737	0,85	0,871795	20
accuracy	0,908451	0,908451	0,908451	0,908451
macro avg	0,913569	0,908451	0,907303	1420
weighted avg	0,913569	0,908451	0,907303	1420

c. Rule-Based NLP

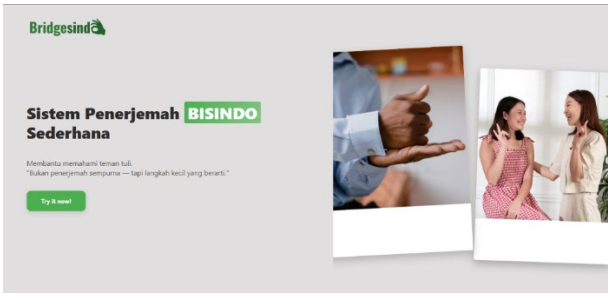
Setelah hasil klasifikasi gestur diperoleh dari model LSTM, sistem melanjutkan proses ke modul rule-based NLP untuk menyusun deretan kata menjadi kalimat sederhana yang lebih mudah dipahami. Aturan ini biasanya disusun berdasarkan struktur linguistik, pola tata bahasa, atau pengelompokan kata tertentu. Sistem ini mengandalkan daftar aturan eksplisit untuk mendeteksi, memahami, dan menginterpretasikan teks, bukan belajar dari data seperti pendekatan *machine learning* [10]. Prosesnya meliputi normalisasi (mengubah huruf menjadi lowercase dan menghapus duplikasi kata), pengkategorian kata berdasarkan fungsi gramatikal (subjek, predikat, objek, kata tanya, salam, dan lain-lain.), serta pemisahan unit kalimat seperti salam atau ungkapan mandiri.

Selain itu, sistem menerapkan aturan khusus untuk menyusun kembali struktur kalimat tanya, misalnya pada kata “kapan”, “siapa”, dan “mau”, agar sesuai dengan gaya komunikasi teman Tuli sekaligus tetap mudah dimengerti dalam Bahasa Indonesia tulis. Fungsi tambahan juga digunakan untuk menyesuaikan penggunaan kata “iya”, menambahkan konjungsi “dan” bila ada kata sejenis berurutan, serta menyisipkan tanda baca dan kapitalisasi agar hasil kalimat lebih natural.

Seluruh tahap ini diintegrasikan ke dalam pipeline process_NLP_pipeline, yang mengatur urutan pemrosesan dari input kata hasil klasifikasi hingga menjadi kalimat akhir yang utuh dan komunikatif. Pipeline ini kemudian diimplementasikan pada endpoint backend, sehingga setiap prediksi gestur secara otomatis ditransformasikan ke teks yang terstruktur dan siap ditampilkan pada pengguna.

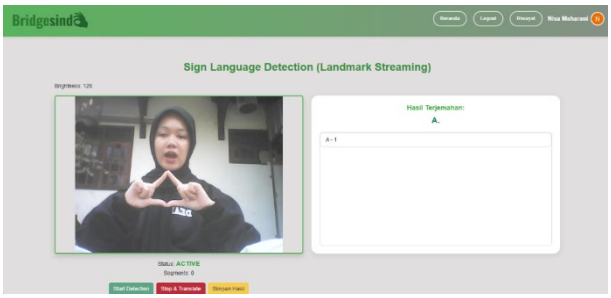
d. Hasil Pengujian Sistem

Pada bagian ini disajikan hasil pengujian dari sistem penerjemah Bisindo yang telah dibangun. Pengujian meliputi kinerja model pengenalan gestur, kemampuan Natural Language Processing (NLP) dalam menyusun kalimat, serta fungsionalitas antarmuka aplikasi. Uraian hasil ini akan menunjukkan sejauh mana sistem dapat bekerja sesuai tujuan, sekaligus menyoroti kelebihan dan keterbatasan yang masih ditemui selama pengujian.



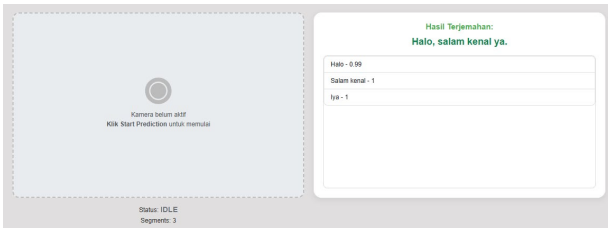
Gambar 6 Halaman Beranda

Halaman beranda merupakan tampilan awal dari aplikasi sistem penerjemah Bahasa Isyarat Indonesia. Tombol aksi “Try it now!” mengarahkan ke halaman penerjemahan isyarat secara langsung.



Gambar 7 Halaman Penerjemah

Gambar 7 merupakan tampilan antarmuka sistem penerjemah Bahasa Isyarat Indonesia. Pada gambar tersebut terlihat bahwa pengguna melakukan gerakan isyarat tangan untuk huruf "A", dan sistem berhasil melakukan prediksi dengan benar sesuai gerakan yang diperagakan.

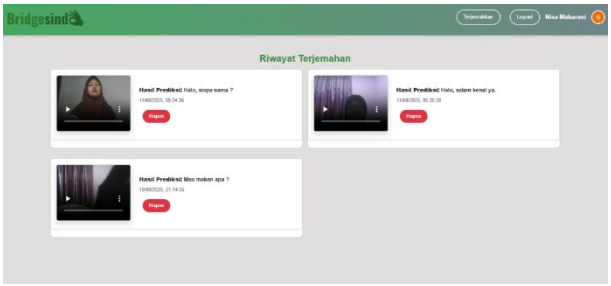


Gambar 8 Hasil Penerjemahan 3 Gerakan

Pada tampilan pengujian sistem, terlihat bahwa aplikasi tidak hanya mampu mendeteksi satu gerakan saja, melainkan juga beberapa gerakan secara berurutan. Misalnya pada contoh di gambar, sistem berhasil mengenali tiga gesture, yaitu *Halo* dengan probabilitas 0.99, *Salam kenal* dengan probabilitas 1, dan *Iya* dengan probabilitas 1.

Selanjutnya, hasil dari prediksi tersebut diproses oleh komponen NLP rule-based. NLP inilah yang menyusun urutan kata hasil deteksi menjadi sebuah kalimat yang lebih natural dan mudah dipahami dalam bahasa Indonesia, sehingga ditampilkan pada layar sebagai: “Halo, salam kenal ya.”

Hal ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya berhenti pada tahap klasifikasi gerakan saja, tetapi juga memiliki kemampuan menerjemahkan serangkaian gesture menjadi kalimat yang utuh dan bermakna. Dengan demikian, sistem dapat digunakan sebagai media penerjemah dasar Bisindo ke bahasa Indonesia.



Gambar 9 Halaman Riwayat

Gambar 9 menampilkan halaman Riwayat. Fitur ini berfungsi untuk menyimpan hasil prediksi terjemahan yang sudah dilakukan sebelumnya. Setiap riwayat ditampilkan dalam bentuk video input beserta hasil prediksi teks yang dihasilkan oleh sistem, lengkap dengan waktu dan tanggal proses terjemahan.

Pengujian sistem secara keseluruhan menunjukkan hasil yang cukup baik. Model pengenalan gestur berhasil memprediksi berbagai macam gestur dengan akurasi yang memadai, namun performanya sangat bergantung pada kondisi pencahayaan. Landmark deteksi cenderung kurang optimal ketika pencahayaan kurang atau terlalu terang, sehingga kondisi pencahayaan sedang memberikan hasil terbaik.

Pada bagian *Natural Language Processing* (NLP), sistem telah berjalan dengan baik dan sesuai aturan yang diterapkan, mampu menyusun kalimat dari gestur dengan tepat.
Secara umum, seluruh komponen sistem, mulai dari deteksi gestur, pemrosesan NLP, hingga antarmuka aplikasi, berfungsi sesuai dengan fungsinya tanpa masalah berarti. Meski demikian, perbaikan pada deteksi landmark terutama dalam kondisi pencahayaan yang variatif akan sangat membantu meningkatkan kinerja model secara keseluruhan.

4. KESIMPULAN

Sistem yang dibangun berhasil mengimplementasikan MediaPipe Holistic untuk ekstraksi landmark tubuh, wajah, dan tangan, serta LSTM untuk klasifikasi gestur Bahasa Isyarat Indonesia dengan hasil yang cukup baik, meskipun performa masih dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan. Melalui pendekatan rule-based NLP, hasil prediksi gestur dapat disusun menjadi kalimat sederhana sesuai aturan Bahasa Isyarat Indonesia sehingga lebih bermakna dan mudah dipahami. Sistem ini juga berhasil diimplementasikan sebagai aplikasi web interaktif dengan integrasi antara frontend, backend, dan Firebase untuk mendukung autentikasi serta penyimpanan riwayat pengguna. Dengan demikian, aplikasi ini dapat menjadi solusi awal dalam pengenalan bahasa isyarat Indonesia secara semi-real-time, meskipun pengembangan lebih lanjut masih diperlukan untuk meningkatkan ketahanan sistem terhadap variasi pencahayaan.

SARAN

Sistem masih memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya deteksi gesture yang kurang optimal pada kondisi pencahayaan rendah sehingga perlu dilakukan augmentasi data, serta sistem NLP yang masih sederhana dan perlu dikembangkan agar mampu menangani kalimat kompleks dan variasi bahasa isyarat yang lebih beragam. Selain itu, performa aplikasi dapat ditingkatkan dengan mengoptimalkan proses upload video agar lebih efisien, serta mengunduh dan meng-host library MediaPipe di server sendiri agar deteksi lebih cepat dan stabil tanpa bergantung pada jaringan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan masukan selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Cirebon yang telah mendukung penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. R. Hudzaifah, "Pengalaman Komunikasi Orang Tua Dengar Dengan Anak Penyandang Disabilitas Tunarungu," Institut Agama Islam Negeri Curup, Curup, 2024.

[2] S. Khotijah, Juliana and D. Driyani, "Perancangan Media Pembelajaran Interaktif Bahasa Isyarat Bisindo Untuk Penyandang Disabilitas Tuna Rungu Berbasis Android," *JIM: Jurnal Ilmiah Multidisiplin,* pp. 126-133, 2023.

[3] A. N. Aliyah, "Implementasi Metode Human Activity Recognition (HAR) Menggunakan Mediapipe Holistic," Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Jakarta, 2022.

[4] D. S. Ariansyah, "Pendeteksi Kata dalam Bahasa Isyarat Menggunakan Algoritma YOLO Versi 8," *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan),* pp. 2773-2777, 2024.

[5] M. N. Alwi, "CRISP-DM: Tahapan, Studi Kasus, Kelebihan, dan Kekurangan," 19 Juni 2024. [Online]. Available: https://www.dicoding.com/blog/crisp-dm-tahapan-studi-kasus-kelebihan-dan-kekurangan/.

[6] I. Afriantoro, W. Hadikristanto and A. F. Putra, "Rancangan Sistem Pendataan Fisik Kendaraan di PT Tass Engineering Berbasis Web Menggunakan Metode Waterfall," *Jurnal Teknlogi Informatika dan Komputer MH. Thamrin,* pp. 121-134, 2022.

[7] A. Y. Pardede, "Bisindo 40 Kata mp4," 2024. [Online]. Available: https://www.kaggle.com/datasets/anggiyohanespardede/bisindo-40-kata-mp4.

[8] D. Hyuk, "Kalimat Sehari-hari dalam BISINDO part 1," 1 Maret 2025. [Online]. Available: https://youtu.be/NaafQwd0XEY?si=7XhnQ7UZ1JaGkXut.

[9] H. O. Kahfi, ""Dimana" Yuk Belajar Bahasa Isyarat dengan Kalimat.," 17 Juli 2023. [Online]. Available: https://youtu.be/4uCzKN65-wM?si=GDXfEUM941ub3rFE.

[10] H. K. Murapaka, "Natural Language Processing — Approaches," 7 Januari 2024. [Online]. Available: https://medium.com/@kalyan45/natural-language-processing-approaches-aa58274fafbf.