

Sistem Deteksi Bahasa Isyarat Alfabet Menggunakan Dataset American Sign Language (ASL) dan Algoritma Random Forest

Siti Farah Fakhirah^{1*}, Muhammad Fillah Alfatih², Hasna Nabiilah Widiani³, Thoriq Muhammad Pasya⁴, Endang Purnama Giri⁵, Gema Parasti Mindara⁶

¹⁻⁴Teknologi Rekayasa Perangkat Lunak, Sekolah Vokasi IPB University, Indonesia

⁵Departemen Ilmu Komputer, IPB University, Indonesia

⁶Teknologi Rekayasa Komputer, Sekolah Vokasi IPB University, Indonesia

Alamat: Jl. Kumbang No.14, RT.02/RW.06, Bogor - Jawa Barat 16128

Korespondensi penulis: sitifarah@apps.ipb.ac.id^{1*}, fillahalfatih@apps.ipb.ac.id², thoriqmuhammadpasya@apps.ipb.ac.id³, hasnawidiani@apps.ipb.ac.id⁴, endang_pg@apps.ipb.ac.id⁵, gemaparasti@apps.ipb.ac.id⁶

Abstract. *Introducing alphabetical sign language is necessary to bridge communication between deaf and hard-of-hearing people and their surrounding environment. This research aims to develop a sign language alphabet letter detection system based on American Sign Language (ASL). The research methods include data collection, feature extraction with OpenCV and Mediapipe, model development with Random Forest algorithm, and real-time system testing. The test results show that the developed system can achieve 97% prediction accuracy in recognizing hand patterns that represent ASL letters. The system uses a webcam as real-time input, providing accurate responses in various environmental conditions. This research contributes significantly to developing communication support technology for the deaf community, with implications for increased inclusivity and social engagement.*

Keywords: *American Sign Language, Mediapipe, OpenCV, Random Forest, Image Processing*

Abstrak. Pengenalan bahasa isyarat alfabet menjadi solusi penting untuk menjembatani komunikasi antara penyandang tunarungu dan tunawicara dengan lingkungan sekitarnya. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem deteksi huruf alfabet bahasa isyarat berbasis *American Sign Language* (ASL). Metode penelitian meliputi pengumpulan data, ekstraksi fitur dengan *OpenCV* dan *Mediapipe*, pengembangan model dengan algoritma *Random Forest*, serta pengujian sistem secara realtime. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu mencapai akurasi prediksi sebesar 97% dalam mengenali pola tangan yang merepresentasikan huruf-huruf ASL. Sistem ini diimplementasikan menggunakan webcam sebagai input real-time, memberikan respons yang akurat dalam berbagai kondisi lingkungan. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi pendukung komunikasi bagi komunitas tunarungu, dengan implikasi pada peningkatan inklusivitas dan keterlibatan sosial.

Kata kunci: *American Sign Language, Mediapipe, OpenCV, Random Forest, Pengolahan Citra.*

1. LATAR BELAKANG

Bahasa memiliki peran penting dalam kehidupan sehari-hari, memungkinkan kita berinteraksi dengan orang lain, menyampaikan perasaan, dan memahami perasaan mereka (Abidin, 2024). Bahasa membuat cara manusia berkomunikasi unik, karena secara alami tidak hanya ditulis atau diucapkan tetapi juga diisyaratkan dan dapat disandikan ke media melalui stimulus visual, audio, atau taktil seperti halnya bahasa isyarat (Wiraswendro & Soetanto, 2022). Bagi individu penyandang tunarungu (tuli) dan tunawicara (bisu), bahasa isyarat menjadi alat komunikasi utama. Berdasarkan (World Health Organization, 2024), lebih dari 5% populasi dunia atau 430 juta jiwa termasuk anak-anak membutuhkan rehabilitasi untuk

mengatasi gangguan pendengaran yang melumpuhkan mereka. Diperkirakan lebih dari 700 juta jiwa atau 1 dari setiap 10 orang akan mengalami gangguan pendengaran yang melumpuhkan pada tahun 2050.

Pengenalan bahasa isyarat menjadi jembatan komunikasi antara tunarungu (tuli) dan tunawicara (bisu) dengan sesamanya maupun orang-orang yang memiliki kemampuan mendengar dengan memanfaatkan bahasa nonverbal (Amiarrhman & Handhika, 2018). Pada dasarnya, bahasa isyarat tidak hanya merepresentasikan kata melalui gerak tubuh, wajah, dan tangan. Bahasa isyarat berupa alfabet juga dapat membantu berkomunikasi dengan kata-kata yang tidak memiliki bahasa tubuh (Wiraswendro & Soetanto, 2022). Bahasa Isyarat Amerika atau dikenal *American Sign Language* (ASL) adalah salah satu bahasa isyarat yang paling banyak digunakan di seluruh dunia.

Munculnya teknologi yang dapat menerjemahkan ASL ke teks secara otomatis menjadi urgensi untuk mengatasi tantangan dan meningkatkan interaksi mereka dengan lingkungan sekitar, yakni dengan penerapan teknologi pengolahan citra digital (Alviando, Al Rivan, & Yoannita, 2020). Penelitian terdahulu seperti (Wiraswendro & Soetanto, 2022) menggunakan algoritma *Random Forest*, *MediaPipe*, dan *OpenCV* pada sistem deteksi bahasa isyarat SIBI, dengan *dataset* 8734 baris yang dibagi menjadi 70% data latih dan 30% data uji, menunjukkan akurasi tinggi. Pemanfaatan *MediaPipe* dan *OpenCV* ditujukan untuk menangkap dan memproses gerakan bahasa isyarat, menyediakan kerangka kerja komprehensif untuk deteksi *real-time*.

Meskipun beberapa penelitian telah menunjukkan hasil signifikan, beberapa model masih mengalami kesulitan dalam mengidentifikasi variasi gerakan tangan yang kompleks dan kondisi lingkungan, seperti ketidakstabilan pencahayaan, gerakan tangan, dan sudut kamera yang tidak ideal (Anjum et al., 2023). Oleh karena itu, pengembangan sistem penerjemah ASL berbasis algoritma *Random Forest* melalui integrasi antara teknik pra-pemrosesan dan eliminasi latar belakang serta input *real-time* melalui *webcam* untuk menghasilkan terjemahan langsung di layar dapat diterapkan untuk mengatasi masalah-masalah tersebut, dengan penggabungan beberapa pohon keputusan yang masing-masing menangani aspek berbeda dari data. Dengan demikian, sistem ini diharapkan mampu mengenali pola tangan yang merepresentasikan huruf-huruf ASL secara akurat, sehingga memberikan solusi komunikasi yang lebih aksesibel dan memberdayakan, sekaligus mendukung keterlibatan sosial yang lebih luas bagi komunitas tunarungu.

2. KAJIAN TEORITIS

Penelitian ini membutuhkan dasar teoritis dan rujukan yang relevan. Tunarungu merupakan kondisi patologis yang ditandai dengan hilangnya kemampuan pendengaran sebagian atau total. Hal ini berdampak signifikan pada komunikasi dan interaksi sosial individu. Kondisi ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti genetik, penuaan, paparan suara keras, dan penyakit tertentu (Koleilat et al., 2024; Sheffield & Smith, 2019).

American Sign Language (ASL) merupakan sistem komunikasi visual yang menggunakan gerakan tangan, ekspresi wajah, dan posisi tubuh untuk menyampaikan informasi secara kompleks dan terstruktur (Reddy, 2023).

Pengolahan Citra Digital, sebagaimana dijelaskan oleh [kutipan], mendukung segmentasi dan ekstraksi fitur visual yang penting untuk mengenali pola pada citra. *MediaPipe*, menurut (Parikh & Harsh, 2024), merupakan pustaka yang memungkinkan deteksi dan pelacakan gerakan tangan secara efisien dan *real-time*. *OpenCV*, sebagaimana diuraikan oleh (Abhigna et al., 2024), membantu dalam *preprocessing* data citra, seperti segmentasi dan pengurangan noise. *Random Forest*, seperti yang dijelaskan oleh (Salman et al., 2024), adalah algoritma pembelajaran mesin yang efektif untuk klasifikasi dengan data kompleks.

Penelitian sebelumnya, seperti (Alsharif et al., 2023; Jyothi, 2024; Mishra et al., 2024; Piperakis et al., 2024; Prabu et al., 2024), telah menunjukkan keberhasilan pengolahan citra dan pembelajaran mesin dalam pengenalan ASL. Selain itu, studi oleh [kutipan] menunjukkan efektivitas *MediaPipe* dan *OpenCV* dalam meningkatkan akurasi deteksi tangan. Dengan mengintegrasikan teori dan temuan sebelumnya, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pengenalan ASL berbasis *MediaPipe*, *OpenCV*, dan algoritma *Random Forest* untuk mendukung komunikasi yang lebih inklusif dan *real-time*.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem deteksi bahasa isyarat alfabet menggunakan *dataset American Sign Language* (ASL) dengan algoritma *Random Forest*. Sistem dirancang untuk mengenali huruf ASL melalui citra tangan menggunakan teknik pemrosesan citra dan pembelajaran mesin. Berikut adalah tahapan metodologi yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Pengumpulan Data

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini adalah *dataset American Sign Language* (ASL) yang berisi gambar-gambar dari berbagai huruf dalam alfabet ASL. Dataset ini telah disiapkan dan dipublikasikan dengan akses publik di *platform* Kaggle (Mavi, 2021). Gambar-gambar ini kemudian diproses dengan memastikan konsistensi ukuran, dan kualitas gambar, serta mengkonversi gambar ke format *grayscale* untuk menyederhanakan analisis (Amalia & Dewi, 2024).

2. Ekstraksi Fitur

Pada ekstraksi fitur, *OpenCV* digunakan untuk membaca gambar dan mengonversinya dari format BGR (*Blue, Green, Red*) ke format RGB, yang diperlukan oleh *Mediapipe* untuk pemrosesan lebih lanjut. *Mediapipe* sendiri menggunakan *machine learning* (ML) untuk menyimpulkan 3D *landmark* dengan menggunakan satu tangan dan hanya mengambil satu bingkai (Muthalib et al., 2023). *Landmark* ini mencakup posisi jari dan telapak tangan yang terdeteksi, dan setiap titik *landmark* diwakili oleh koordinat x dan y pada citra. koordinat ini kemudian digunakan sebagai fitur masukan ke dalam model random forest untuk klasifikasi huruf ASL.

3. Pengembangan Model

Model yang dibentuk diuji akurasinya dengan melakukan pembagian dataset, yaitu 80% untuk data pelatihan dan 20% untuk data pengujian (Widiastuti et al., 2023). Pembagian ini dilakukan untuk memastikan model dapat dilatih dengan efektif menggunakan sebagian besar data, sementara data pengujian digunakan untuk mengevaluasi kinerja model pada data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Model deteksi dilatih menggunakan algoritma *Random Forest*, yang dipilih karena kemampuannya untuk menangkap pola non-linear pada data numerik, seperti koordinat *landmark* tangan.

4. Pengujian Sistem

Sistem yang dikembangkan bekerja dengan menangkap gambar tangan pengguna secara *real-time* menggunakan webcam. Setelah tangan terdeteksi, *Mediapipe* digunakan untuk mendeteksi *landmark* tangan, dan koordinat *landmark* yang terdeteksi digunakan sebagai input ke dalam model yang telah dilatih dengan *Random Forest*. Proses pembentukan *landmark* ini didasarkan dari model yang dibuat oleh machine learning *Mediapipe* dan *OpenCV* (Budiman et al., 2022). Model kemudian memprediksi huruf ASL yang sesuai dengan posisi tangan yang terdeteksi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengembangan sistem pengenalan huruf alfabet bahasa isyarat menggunakan dataset *American Sign Language* (ASL) melibatkan beberapa tahapan, yaitu pengumpulan data, ekstraksi fitur pada dataset gambar, pengembangan model deteksi citra, hingga analisis kinerja sistem. Setiap tahapan dirancang untuk memastikan akurasi dan efisiensi sistem dalam mengklasifikasikan gerakan tangan pengguna secara real-time.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui *platform* Kaggle, sebuah situs yang menyediakan berbagai dataset untuk analisis data dan *machine learning*. Dataset yang digunakan berupa gambar bahasa isyarat dengan format *American Sign Language* (ASL) yang mencakup 26 alfabet, dari A hingga Z. Masing-masing alfabet memiliki 400 gambar sehingga dataset memiliki variasi dari segi sudut pengambilan dan pencahayaan untuk menggambarkan berbagai skenario penggunaan yang mungkin dihadapi oleh pengguna pada tahap implementasi sistem.

Ekstraksi Fitur Data

Pada tahap ekstraksi fitur data, sistem memanfaatkan *OpenCV* untuk membaca gambar lalu melakukan konversi dari format BGR ke RGB. Konversi ini dilakukan karena format RGB diperlukan oleh *library* MediaPipe agar gambar dapat diproses lebih lanjut. Proses ini bertujuan untuk menyiapkan gambar agar sesuai dengan kebutuhan algoritma pendeteksian yang digunakan.

Setelah gambar dikonversi, sistem memanfaatkan MediaPipe untuk mendeteksi *landmark* tangan pada gambar. Jika tangan terdeteksi, MediaPipe akan menghasilkan koordinat dari setiap *landmark* tangan dalam bentuk titik-titik yang merepresentasikan posisi jari dan telapak tangan. Proses ini bertujuan untuk mengekstrak informasi penting dari gambar berupa koordinat *landmark* tangan yang akan digunakan sebagai fitur masukan ke dalam model.

Koordinat *landmark* yang terdiri dari nilai x dan y untuk setiap titik pada satu tangan disimpan ke dalam file. Penyimpanan ini dilakukan agar data yang telah diekstraksi dapat diakses kembali tanpa harus memproses ulang gambar asli. Pendekatan ini tidak hanya menghemat waktu, tetapi juga meningkatkan efisiensi sistem, terutama ketika dataset yang digunakan berukuran besar.

Pengembangan Model

Dataset dibagi menjadi dua bagian pada tahap pemodelan data, yaitu sebesar 80% untuk pelatihan dan 20% untuk pengujian. Pembagian ini dilakukan untuk memastikan bahwa model

dapat dilatih secara efektif menggunakan sebagian besar data, sementara sisanya digunakan untuk menguji performa model dalam memprediksi data yang belum pernah dilihat sebelumnya.

Setelah data dibagi menjadi data latih dan data uji, model deteksi dilatih menggunakan algoritma *Random Forest*. Algoritma ini dipilih karena mampu menangkap pola non-linear dengan baik untuk klasifikasi berbasis data numerik, seperti koordinat *landmark* tangan. Algoritma *random forest* juga dinilai efektif untuk *hand recognition* dengan memanfaatkan beberapa *decision tree* untuk meningkatkan akurasi (Bhushan et al., 2022). Proses pelatihan dilakukan dengan menyesuaikan parameter model agar menghasilkan hasil prediksi yang optimal.

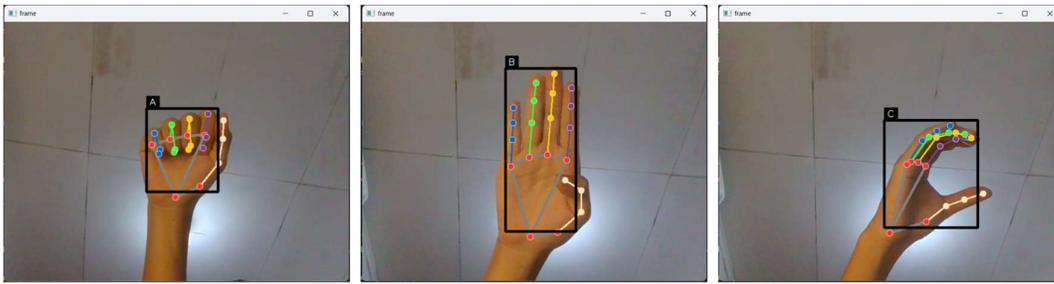
```
... 97.13223579394582% of samples were classified correctly !
```

Gambar 1. Persentase Klasifikasi Model

Hasil pelatihan menunjukkan bahwa model yang dikembangkan mampu mencapai akurasi sebesar 97% pada data pengujian, yang mencerminkan kemampuan model dalam melakukan klasifikasi dengan tingkat keakuratan yang sangat baik. Setelah proses pelatihan selesai, model yang telah dilatih disimpan ke dalam *file*. Penyimpanan ini dilakukan agar model dapat digunakan kembali pada tahap implementasi sistem tanpa perlu melatih ulang, sehingga efisiensi waktu dan sumber daya dapat terjaga. Model yang disimpan akan digunakan untuk memprediksi huruf alfabet berdasarkan koordinat *landmark* tangan pada gambar baru.

Analisis Kinerja Sistem

Sistem bekerja dengan cara mengarahkan tangan pengguna ke arah webcam, sehingga kamera dapat menangkap gambar secara *real-time*. Setelah tangan terdeteksi, sistem memanfaatkan *MediaPipe* untuk mengenali pola pada *landmark* tangan. *MediaPipe* akan mengidentifikasi koordinat landmark berdasarkan posisi jari dan telapak tangan. Pola yang terbentuk dari *landmark* kemudian digunakan sebagai input untuk model deteksi yang telah dilatih sebelumnya menggunakan algoritma Random Forest, sehingga memungkinkan model untuk menghasilkan prediksi huruf alfabet yang sesuai berdasarkan gerakan tangan yang terdeteksi.



Gambar 2. Implementasi Sistem

Sebagai contoh pada gambar yang ditunjukkan, sistem berhasil mendeteksi tangan dan menghasilkan prediksi alfabet A, B, dan C, sesuai dengan gerakan tangan yang ditampilkan. Dengan kemampuan ini, sistem dapat memproses gerakan tangan pengguna secara akurat untuk mengidentifikasi huruf alfabet dari bahasa isyarat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem deteksi bahasa isyarat alfabet menggunakan dataset ASL dengan algoritma *Random Forest*. Sistem menunjukkan kinerja yang baik dengan akurasi sebesar 97% dalam mengenali huruf-huruf bahasa isyarat secara *real-time*. Hal ini menegaskan efektivitas kombinasi teknik pra-pemrosesan citra dengan *OpenCV*, deteksi fitur dengan *Mediapipe*, dan klasifikasi dengan *Random Forest*. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan dalam pengujian terhadap kondisi pencahayaan ekstrem dan variasi sudut kamera. Oleh karena itu, pengembangan lanjutan disarankan untuk mengintegrasikan algoritma *deep learning* guna meningkatkan akurasi dalam kondisi pencahayaan dan sudut kamera yang lebih kompleks. Selain itu, penambahan dataset dengan variasi gerakan tangan yang lebih luas dapat membantu meningkatkan keandalan sistem di lingkungan yang lebih dinamis.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memberi dukungan selama penyusunan penelitian ini. Ucapan ini juga ditujukan kepada Bapak Endang Purnama Giri S.Kom., M.Kom. dan Ibu Gema Parasti Mindara S.Si., M.Kom. selaku dosen mata kuliah Pemrosesan Citra di Sekolah Vokasi IPB University yang telah membimbing selama proses pengerjaan proyek sistem deteksi alfabet pada bahasa isyarat ASL berlangsung. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat yang berarti dan menjadi langkah awal untuk penelitian lebih lanjut.

7. DAFTAR REFERENSI

- Abhigna, K., Damisetty, R., & D N, V. K. (2024). Integrating OpenCV and Pandas for Enhanced Image Filtering and Color Detection. ResearchGate. <https://doi.org/10.55041/IJSREM36213>
- Abidin, I. (2024). Penerapan Mediapipe dan Algoritma Random Forest Terhadap Sistem Penerjemah Bahasa Isyarat Sibi [Skripsi, Universitas Muhammadiyah Makassar]. Retrieved from https://digilibadmin.unismuh.ac.id/upload/42089-Full_Text.pdf
- Alsharif, B., Alanazi, M., & Ilyas, M. (2023). Machine Learning Technology to Recognize American Sign Language Alphabet. 2023 IEEE 20th International Conference on Smart Communities: Improving Quality of Life Using AI, *Robotics and IoT (HONET)*, 173–178. <https://doi.org/10.1109/HONET59747.2023.10374964>
- Alviando, M. R., Al Rivan, M. E., & Yoannita, Y. (2020). Klasifikasi American Sign Language Menggunakan Fitur Scale Invariant Feature Transform dan Jaringan Saraf Tiruan. *Jurnal Algoritme*, 1(1), 1–11. <https://doi.org/10.35957/algoritme.v1i1.403>
- Amalia, V. F., & Dewi, R. R. (2024). Penilaian Kesegaran Ikan dengan Metode K-Nearest Neighbor dan Pengolahan Citra Digital. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(4), Article 4. <https://doi.org/10.36040/jati.v8i4.10441>
- Amiarrahman, M. R., & Handhika, T. (2018). Analisis dan Implementasi Algoritma Klasifikasi Random Forest Dalam Pengenalan Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO). In *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi)*, 2(1), 083–088. <https://doi.org/10.29407/inotek.v2i1.461>
- Anjum, R., Sadaf, A. N., Sami, M., & Siddiqui, K. A. (2023). An Efficient Approach for Interpretation of Indian Sign Language using Machine Learning. *International Journal of Innovative Research in Engineering & Multidisciplinary Physical Sciences (IJIRMP)*, 11(1). <https://doi.org/10.37082/IJIRMP.v11.i1.230316>
- Bhushan, S., Alshehri, M., Keshta, I., Chakraverti, A. K., Rajpurohit, J., & Abugabah, A. (2022). An experimental analysis of various machine learning algorithms for hand gesture recognition. *Electronics*, 11(6), 968. <https://doi.org/10.3390/electronics11060968>
- Budiman, S. N., Lestanti, S., Evvandri, S. M., & Putri, R. K. (2022). PENGENALAN GESTUR GERAKAN JARI UNTUK MENGONTROL VOLUME DI KOMPUTER MENGGUNAKAN LIBRARY OPENCV DAN MEDIAPIPE. *Antivirus : Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, 16(2), Article 2. <https://doi.org/10.35457/antivirus.v16i2.2508>
- Jyothi, Mrs. N. K. (2024). Image Processing Model for Sign Language Recognition System. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 12(5), 2235–2237. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.61671>
- Koleilat, A., Schimmenti, L. A., & Muthusamy, K. (2024). Hearing loss. In *Neurogenetics for the Practitioner* (pp. 305-325). *Academic Press*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99417-0.00031-8>
- Mavi, A. (2021). A New Dataset and Proposed Convolutional Neural Network Architecture for Classification of American Sign Language Digits (No. arXiv:2011.08927). *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2011.08927>

- Mishra, S. R., Sahoo, J. P., & Sahoo, S. P. (2024). Visual Static Hand Gesture Recognition for ASL using Multi-Feature Fusion Technique. *2024 3rd International Conference on Artificial Intelligence For Internet of Things (AIIoT)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/AIIoT58432.2024.10574668>
- Muthalib, M. A., Irfan, Kartika, & Meliala, S. (2023). PENGIRAAN POSE MODEL MANUSIA PADA REPETISI KEBUGARAN AI PEMOGRAMAN PYTHON BERBASIS KOMPUTERISASI. *INFOTECH Journal*, 9(1), 11–19. <https://doi.org/10.31949/infotech.v9i1.4233>
- Piperakis, S., Papatsimouli, M., Argyriou, V., Sarigiannidis, P., & Fragulis, G. F. (2024). SignTrack: Advancements in Real-Time Sign Language Processing for Inclusive Computing with optimized AI. *2024 13th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/MOCAST61810.2024.10615749>
- Prabu, S., K, S. T., S, S., D, S., & J, R. (2024). Revolutionizing Communication: A Hybrid Deep Learning Framework for Enhanced Sign Language Recognition. *2024 International Conference on Data Science and Network Security (ICDSNS)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICDSNS62112.2024.10690996>
- Reddy, A. (2023). Alphabet based Sign Language Translator for Two Way Communication. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 12(8), 1427–1432. <https://doi.org/10.21275/SR23815104133>
- Salman, H. A., Kalakech, A., & Steiti, A. (2024). Random Forest Algorithm Overview. *Babylonian Journal of Machine Learning*, 2024, 69–79. <https://doi.org/10.58496/BJML/2024/007>
- Sheffield, A. M., & Smith, R. J. (2019). The epidemiology of deafness. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 9(9). <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a033258>
- Tama, N. S., & Novita, R. (2024). Visualization of Indonesian Sign Language System using Image Classification for Special Needs Students in Special Schools. In *2024 International Conference on Circuit, Systems and Communication (ICCSC)*, 6, 1–5. <https://doi.org/10.1109/iccsc62074.2024.10616895>
- Widiastuti, T., Karsa, K., & Juliane, C. (2023). Evaluasi Tingkat Kepuasan Mahasiswa Terhadap Pelayanan Akademik Menggunakan Metode Klasifikasi Algoritma C4.5. *Technomedia Journal*, 7(3), 364–380. <https://doi.org/10.33050/tmj.v7i3.1932>
- Wiraswendro, P. E., & Soetanto, H. (2022). Application of Random Forest Classifier Algorithm in Indonesian Sign Language System (Sibi) Detection System. *Bit (Fakultas Teknologi Informasi Universitas Budi Luhur)*, 19(2), 75. <https://doi.org/10.36080/bit.v19i2.2043>
- World Health Organization. (2024). Deafness and hearing loss. World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>, diakses tanggal 28 November 2024.