

Penerjemah Citra Braille Dasar Berbasis Web dengan Segmentasi YOLOv8 dan Klasifikasi CNN

^{1*}Arie Rahma Nurjannah, ²Made Ayu Dusea Widyadara, ³Daniel Swanjaya

^{1,2,3} Teknik Informatika, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: ¹*arierahma3006@gmail.com, ²madedara@gmail.com, ³daniel@unpkdr.ac.id

Penulis Korespondens : Arie Rahma Nurjannah

Abstrak— Kemampuan membaca Braille tidak hanya diperlukan oleh guru, tetapi juga oleh orang tua yang mendampingi anak tunanetra belajar di rumah. Kendala yang sering muncul adalah pola titik Braille timbul memiliki kontras rendah sehingga sulit dibaca oleh orang tua yang belum terbiasa. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem bantu baca Braille karakter dan suku kata berbasis web untuk menerjemahkan citra Braille menjadi huruf Latin, suku kata, kata, dan suara pembelajaran. Sistem dibangun menggunakan Flask sebagai kerangka web, OpenCV untuk koreksi perspektif gambar, YOLOv8 untuk segmentasi suku kata, dan CNN untuk klasifikasi karakter. Data keluaran model kemudian diproses kembali melalui aturan pengelompokan konsonan-vokal agar hasil karakter dapat dibaca sebagai suku kata sederhana, misalnya b + u menjadi bu dan bu + ku menjadi buku. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu menerima input melalui unggah gambar maupun kamera, menampilkan grid suku kata, serta membacakan naskah pembelajaran dengan sinkronisasi animasi grid. Sistem ini relevan digunakan sebagai media bantu awal bagi orang tua anak tunanetra, meskipun performa prediksi masih bergantung pada kualitas foto, pencahayaan, posisi kertas, dan model yang digunakan.

Kata Kunci— Braille, CNN, Flask, sistem bantu baca, suku kata, YOLOv8

Abstract— Braille reading skills are not only required by teachers but also by parents who assist visually impaired children at home. A common problem is that embossed Braille dots have low visual contrast, making them difficult to read for parents who are not familiar with Braille patterns. This study aims to develop a web-based assistive Braille reading system that translates Braille images into Latin characters, syllables, words, and learning audio. The system was developed using Flask as the web framework, OpenCV for image perspective correction, YOLOv8 for Braille character position segmentation, and CNN for character classification. The model output is further processed using a consonant-vowel grouping rule so that character predictions can be converted into simple syllables, such as b + u into bu and bu + ku into buku. The implementation results show that the system can receive input through image upload and browser camera, display character and syllable grids, and read a learning script with synchronized grid animation. The system is suitable as an initial assistive medium for parents of first-grade visually impaired elementary school children, although prediction performance still depends on image quality, lighting, paper position, and the model used.

Keywords— Braille, CNN, Flask, reading assistive system, syllable, YOLOv8

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Braille merupakan sistem tulisan berbasis titik timbul yang berperan penting dalam proses literasi penyandang tunanetra. World Health Organization[1] menyebutkan bahwa gangguan penglihatan berdampak pada berbagai fase kehidupan dan membutuhkan dukungan layanan, rehabilitasi, serta teknologi bantu yang sesuai [2]. Dalam konteks pendidikan dasar, kemampuan membaca Braille tidak hanya dibutuhkan oleh siswa tunanetra, tetapi juga oleh guru dan orang tua yang mendampingi proses belajar di sekolah maupun di rumah.

Permasalahan utama pada pembacaan Braille secara visual adalah rendahnya kontras antara titik timbul dan permukaan kertas. Orang yang tidak terbiasa membaca Braille harus mengamati susunan titik dalam pola dua kolom dan tiga baris, sehingga proses pembacaan dapat menjadi lambat dan rentan keliru. Penelitian Suarjaya dkk. menunjukkan bahwa keluarga memiliki peran dalam mendukung pendidikan siswa tunanetra, tetapi tidak semua orang tua memahami cara membaca huruf Braille [3]. Kondisi tersebut memperlihatkan perlunya media bantu yang sederhana, mudah digunakan, dan sesuai dengan kebutuhan orang tua.

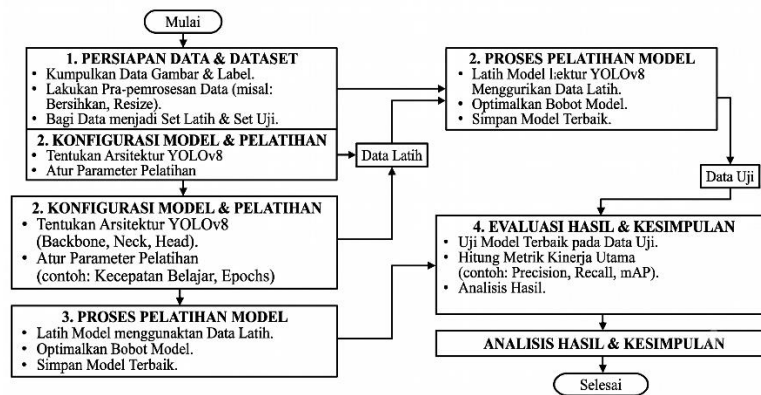
Perkembangan computer vision dan deep learning membuka peluang untuk membangun sistem Optical Braille Recognition (OBR)[4]. Pada pendekatan modern, citra Braille dapat diproses melalui tahapan akuisisi gambar, preprocessing, deteksi titik atau sel Braille[5], konstruksi sel, klasifikasi karakter, dan post-processing [3]. Ovodov juga menunjukkan bahwa metode berbasis object detection CNN dapat digunakan untuk pengenalan Braille dari kamera ponsel, termasuk pada citra dengan distorsi perspektif [6]. Hal ini relevan karena pengguna aplikasi umumnya mengambil foto melalui kamera ponsel dengan sudut dan pencahayaan yang tidak selalu stabil. Beberapa penelitian terbaru telah menggabungkan deteksi objek dan klasifikasi citra dalam sistem pengenalan Braille. Setiawan dan Rachmawanto mengembangkan sistem dua tahap dengan YOLOv8[7] untuk mendeteksi posisi karakter dan CNN MobileNetV2 untuk klasifikasi karakter [8], [9]. Ridwan dkk. juga mengembangkan sistem klasifikasi huruf Braille berbasis web menggunakan CNN dengan keluaran alfabet Latin [8]. Walaupun demikian, sebagian besar sistem masih berfokus pada pengenalan karakter, sedangkan kebutuhan pembelajaran anak SD kelas 1 menuntut hasil yang lebih komunikatif, yaitu pembacaan karakter menjadi suku kata dan kata sederhana.

Berdasarkan masalah tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem bantu baca Braille karakter dan suku kata berbasis web. Sistem tidak hanya menampilkan hasil huruf Latin, tetapi juga mengelompokkan hasil karakter menjadi suku kata sederhana, membentuk kata, serta membacakan pola pembelajaran melalui suara[2], [10]. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan rancangan dan implementasi sistem yang dapat membantu orang tua anak tunanetra mengenali tulisan Braille secara lebih mudah melalui gambar, grid visual, dan narasi audio.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan pengembangan sistem berbasis prototipe. Fokus penelitian berada pada implementasi sistem bantu baca Braille yang mampu menerima citra dari unggahan file maupun kamera browser, melakukan koreksi gambar, mendeteksi suku kata, menggabungkan karakter menjadi suku kata, dan menghasilkan suara pembelajaran. Struktur metode disusun mengikuti tahapan pengembangan sistem, yaitu analisis kebutuhan,

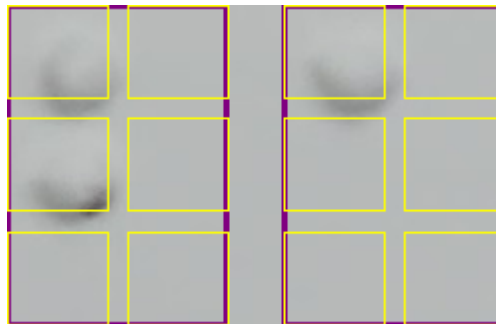
perancangan alur sistem, implementasi model, implementasi antarmuka, dan pengujian fungsional.



Gambar 1. Alur Metode Penelitian

A. Dataset

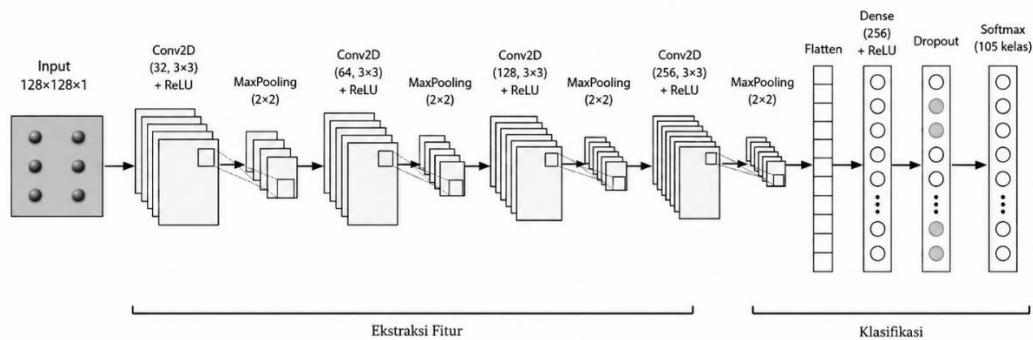
Dataset yang digunakan merupakan dataset citra Braille multi-character yang terdiri atas 105 kelas suku kata. Setiap kelas memiliki 10 citra, sehingga total data yang digunakan sebanyak 1.050 citra. Dataset dibagi secara stratified menjadi data latih, data validasi, dan data uji dengan rasio 80:10:10. Dengan pembagian tersebut, diperoleh 840 citra data latih, 105 citra data validasi, dan 105 citra data uji. Seluruh citra pada dataset diseragamkan ukurannya menjadi 128×128 piksel sebelum digunakan pada proses pelatihan model, sehingga dimensi data masukan yang digunakan pada proses klasifikasi CNN menjadi konsisten.



Gambar 2. Contoh Citra Dataset Braille Multi-Character (suku kata)

B. Arsitektur

Arsitektur sistem terdiri dari lapisan input, lapisan pengolahan citra, lapisan model, lapisan post-processing, dan lapisan antarmuka. Lapisan input menangani unggahan gambar dan hasil tangkapan kamera dalam bentuk data URL. Lapisan pengolahan citra menyimpan gambar ke direktori serving dan melakukan koreksi perspektif apabila opsi pelurusan otomatis diaktifkan. Lapisan model menggunakan YOLOv8 sebagai segmenter dan CNN sebagai classifier. Lapisan post-processing mengurutkan kotak deteksi berdasarkan baris dan kolom, memberi spasi berdasarkan jarak antarkarakter, mengubah simbol atau angka, serta membentuk suku kata melalui aturan konsonan-vokal. Lapisan antarmuka menampilkan grid dan mengatur sinkronisasi suara.



Gambar 3. Arsitektur CNN untuk Klasifikasi Suku Kata Braille

Model CNN pada penelitian ini dirancang sebagai model klasifikasi citra Braille hasil segmentasi. Citra masukan terlebih dahulu diubah menjadi grayscale dan diseragamkan ukurannya menjadi 128×128 piksel agar seluruh data memiliki dimensi yang konsisten sebelum masuk ke proses pelatihan. Arsitektur CNN terdiri atas beberapa blok konvolusi yang berfungsi mengekstraksi ciri visual berupa pola titik Braille. Setiap blok konvolusi dikombinasikan dengan fungsi aktivasi ReLU, MaxPooling, dan Dropout untuk membantu model mempelajari pola citra serta mengurangi risiko overfitting. Setelah proses ekstraksi ciri selesai, hasil fitur diratakan menggunakan Flatten, kemudian diproses melalui Dense layer dan lapisan akhir Softmax untuk mengklasifikasikan citra ke dalam 105 kelas suku kata Braille. Model dilatih menggunakan optimizer Adam dengan fungsi loss sparse categorical crossentropy, serta menerapkan ModelCheckpoint, EarlyStopping, dan ReduceLROnPlateau untuk menjaga performa pelatihan.

C. Preprocessing Citra

Preprocessing dilakukan sebelum gambar diproses oleh model. Sistem membaca file gambar menggunakan OpenCV, mengubah data kamera dari base64 menjadi citra, kemudian menyimpan citra sebagai `original_image.jpg`. Jika fitur pelurusan otomatis aktif, sistem melakukan konversi grayscale, Gaussian blur, deteksi tepi Canny, dilasi, operasi morfologi close, pencarian kontur, dan pemilihan empat titik sudut dokumen. Titik sudut kemudian diurutkan menjadi kiri-atas, kanan-atas, kanan-bawah, dan kiri-bawah untuk proses `warpPerspective`. Apabila sudut kertas tidak ditemukan, sistem tetap memakai gambar asli agar proses prediksi tidak berhenti.

D. Segmentasi dan Klasifikasi

Segmentasi dilakukan menggunakan YOLOv8 untuk mendeteksi area Braille pada citra masukan. Hasil deteksi berupa koordinat bounding box yang menunjukkan lokasi objek Braille. Setiap area hasil deteksi kemudian dipotong dari citra asli dan diproses lebih lanjut sebagai masukan bagi model klasifikasi. Klasifikasi dilakukan menggunakan CNN yang telah dilatih untuk mengenali kelas suku kata. Setiap citra hasil potongan diubah ukurannya sesuai input model, dinormalisasi, lalu diprediksi ke dalam salah satu label suku kata.

E. Persamaan Evaluasi Model

Evaluasi model dilakukan menggunakan metrik klasifikasi dan metrik deteksi. Pada CNN, metrik yang digunakan meliputi accuracy, precision, recall, dan F1-score. Pada YOLOv8, evaluasi deteksi menggunakan Intersection over Union (IoU) dan mean Average Precision (mAP). Persamaan dasar metrik evaluasi ditunjukkan pada Persamaan (1) sampai (6).

$$\text{Accuracy} = \frac{(TP + TN)}{(TP + TN + FP + FN)} \quad (1)$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{(TP + FP)} \quad (2)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{(TP + FN)} \quad (3)$$

$$F1 - \text{score} = 2 \times (\text{Precision} \times \text{Recall}) / (\text{Precision} + \text{Recall}) \quad (4)$$

$$IoU = \frac{Area_{B_{pred} \cap B_{gt}}}{Area_{B_{pred} \cup B_{gt}}} \quad (5)$$

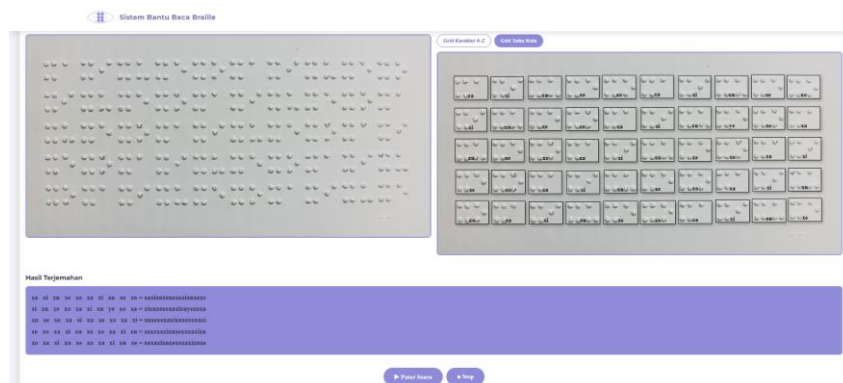
$$mAP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AP_i = 1 \sum N \quad (6)$$

Keterangan TP adalah true positive, TN adalah true negative, FP adalah false positive, dan FN adalah false negative. Pada Persamaan (5), B_pred merupakan bounding box hasil prediksi, sedangkan B_gt merupakan bounding box ground truth. Nilai mAP dihitung dari rata-rata Average Precision pada seluruh kelas atau ambang IoU yang digunakan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. IMPLEMENTASI SISTEM

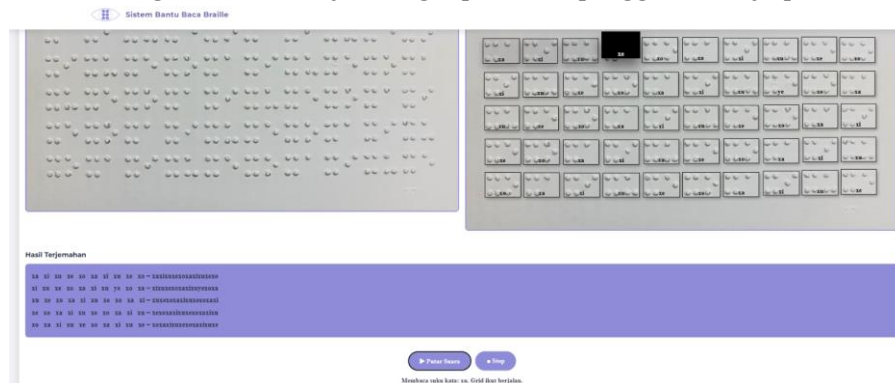
Hasil implementasi menunjukkan bahwa Sistem berhasil diimplementasikan sebagai aplikasi web yang menerima input citra Braille melalui unggah gambar maupun kamera. Setelah citra diterima, sistem menjalankan proses deteksi area Braille menggunakan YOLOv8, kemudian mengklasifikasikan hasil potongan citra ke dalam kelas suku kata menggunakan CNN. Hasil akhir ditampilkan dalam bentuk citra hasil deteksi dan teks prediksi suku kata.



Gambar 4. Halaman Antarmuka

B. Implementasi Antarmuka dan Suara

Antarmuka sistem dibangun menggunakan Flask, HTML, CSS, dan JavaScript. Halaman input menyediakan tombol Buka Kamera, Pilih Gambar, Ambil Foto, dan Kenali Braille. Halaman hasil menyediakan dua mode grid, yaitu Grid Suku Kata. Grid ditampilkan sebagai overlay pada gambar hasil deteksi agar pengguna dapat melihat posisi pembacaan. Fitur suara menggunakan SpeechSynthesisUtterance dengan bahasa Indonesia. Ketika sistem membacakan suku kata, grid aktif mengikuti unit yang sedang dibaca. Ketika sistem membacakan kata final, grid berhenti sejenak agar perhatian pengguna tertuju pada hasil kata.



Gambar 5. Halaman Antarmuka Putar Suara

B. Hasil Pengujian Fungsional

Tabel 1. Hasil Pengujian Fungsional Sistem

No	Fitur	Skenario Uji	Hasil yang Diharapkan	Status
1	Unggah gambar	Pengguna memilih file gambar Braille.	Gambar tampil sebagai pratinjau dan siap diproses.	Sesuai
2	Buka kamera	Pengguna menekan tombol Buka Kamera.	Video kamera tampil dengan grid dan empat sudut panduan scan.	Sesuai
3	Ambil foto	Pengguna menekan tombol Ambil Foto.	Citra kamera tersimpan sebagai input dan tampil pada pratinjau.	Sesuai
4	Pelurusan otomatis	Opsi luruskan gambar diaktifkan.	Sistem mencoba mendeteksi sudut kertas dan melakukan koreksi perspektif.	Sesuai
5	Deteksi Braille	Pengguna menekan Kenali Braille.	YOLOv8 mendeteksi posisi karakter dan CNN mengklasifikasikan potongan karakter.	Sesuai
6	Grid hasil	Pengguna memilih mode karakter atau suku kata.	Overlay grid berubah sesuai mode yang dipilih.	Sesuai
7	Suara	Pengguna menekan Putar Suara.	Sistem membacakan pola suku kata menjadi kata dan grid bergerak sinkron.	Sesuai

C. Hasil Pengujian Alur Pembelajaran Suku Kata

Pengujian alur pembelajaran dilakukan dengan melihat keluaran post-processing. Sistem membangun naskah suara dalam bentuk singkat, seperti bu + ku = buku atau i + bu = ibu. Naskah ini lebih sesuai untuk orang tua karena tidak terlalu panjang dan langsung menunjukkan hubungan antara suku kata dan kata. Pada halaman hasil, teks tersebut ditampilkan dalam satu kontainer utama agar antarmuka tidak terlalu padat.

Tabel 2. Contoh Aturan Penggabungan

Input Karakter	Aturan	Hasil Suku Kata/Kata	Keterangan
b u	konsonan + vokal	bu	Dua karakter digabung menjadi satu suku kata.
k u	konsonan + vokal	ku	Dua karakter digabung menjadi satu suku kata.
bu + ku	suku kata + suku kata	buku	Suku kata digabung menjadi kata.
i + bu	vokal + suku kata	ibu	Vokal tunggal dapat menjadi unit awal kata.

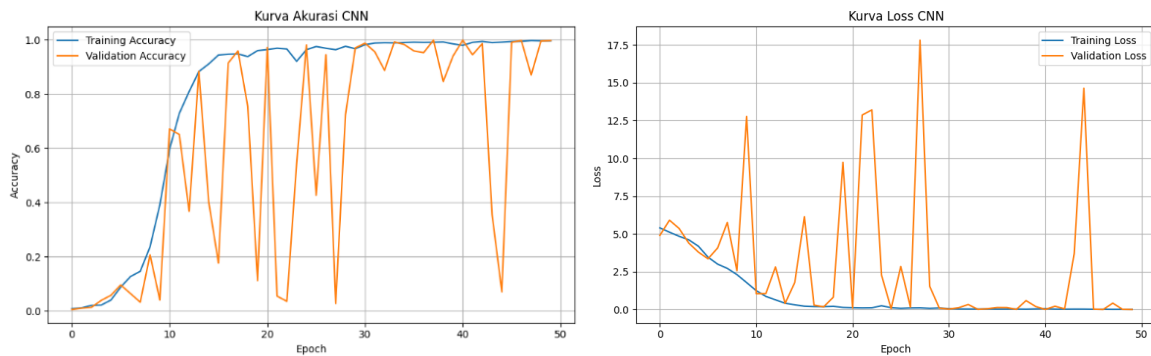
D. Pembahasan

Sistem yang dikembangkan memiliki karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan pembelajaran Braille dasar. Pertama, sistem menyediakan input kamera sehingga orang tua tidak perlu memindahkan file secara manual. Kedua, sistem menyediakan grid dan sudut panduan scan sehingga proses pengambilan gambar menjadi lebih terarah. Ketiga, hasil pengenalan tidak berhenti pada karakter, tetapi diproses menjadi suku kata dan kata. Keempat, suara pembelajaran membantu pengguna memahami hasil secara auditif.

Evaluasi kuantitatif terhadap model YOLOv8n dilakukan untuk mengetahui kemampuan model dalam mendeteksi area Braille pada citra masukan. Berdasarkan hasil pelatihan hingga epoch ke-80, model memperoleh nilai precision sebesar 0,99311, recall sebesar 0,85165, mAP@0.5 sebesar 0,85964, dan mAP@0.5:0.95 sebesar 0,85964. Nilai precision yang tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar kotak deteksi yang dihasilkan model sudah tepat mengarah pada objek Braille. Sementara itu, nilai recall sebesar 0,85165 menunjukkan bahwa model masih memiliki kemungkinan melewatkan sebagian area Braille tertentu, terutama pada citra dengan kualitas kurang jelas, posisi tidak sejajar, atau titik Braille yang kurang kontras.

Tabel 3 Hasil Evaluasi Kuantitatif Model YOLOv8n

Model	Epoch	Precision	Recall	mAP@0.5	mAP@0.5:0.95
YOLOv8n	80	0,99311	0,85165	0,85964	0,85964



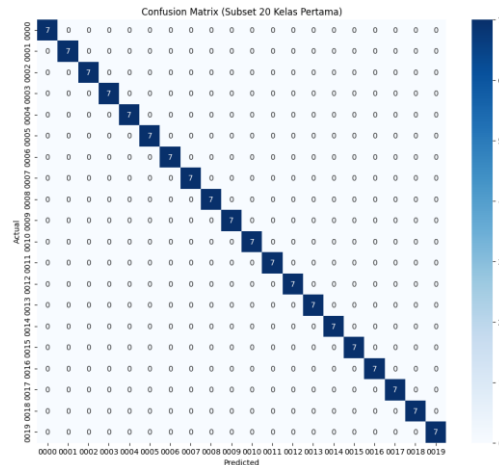
Gambar 6. Grafik Akurasi dan Loss pada Proses Pelatihan Model CNN

Penggunaan YOLOv8 sebagai segmentasi dan CNN sebagai klasifikasi juga sesuai dengan pola penelitian terkini pada OBR. Setiawan dan Rachmawanto menunjukkan bahwa pemisahan tugas antara deteksi dan klasifikasi dapat menghasilkan sistem pengenalan Braille yang efektif [3]. Pada sistem ini, YOLOv8 berperan sebagai model segmentasi untuk menemukan area karakter atau suku kata Braille pada citra, sedangkan CNN berperan sebagai model klasifikasi untuk mengenali kelas suku kata Braille dari hasil segmentasi tersebut. Pemisahan tersebut membuat alur lebih jelas karena kesalahan deteksi posisi dan kesalahan klasifikasi karakter dapat dianalisis secara terpisah.

Tabel 4. Hasil Evaluasi Pelatihan Model CNN

Model	Epoch	Training Accuracy	Validation Accuracy	Training Loss	Validation Loss
Base CNN	100	1,0000	1,0000	0,0323	0,0064

Berdasarkan hasil pelatihan model CNN selama 100 epoch, model menunjukkan peningkatan performa yang signifikan. Pada akhir pelatihan, model memperoleh training accuracy sebesar 1,0000 dan validation accuracy sebesar 1,0000. Nilai training loss menurun hingga 0,0323, sedangkan validation loss mencapai 0,0064. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model mampu mempelajari pola citra Braille suku kata dengan sangat baik pada data latih maupun data validasi. Meskipun demikian, performa yang sangat tinggi tetap perlu dianalisis secara hati-hati karena jumlah data pada setiap kelas relatif terbatas, sehingga evaluasi tambahan melalui data uji dan confusion matrix tetap diperlukan untuk memastikan kemampuan generalisasi model.



Gambar 7. Confusion Matrix pada Subset 20 Kelas Suku Kata Braille

Berdasarkan Gambar 7, *confusion matrix* yang ditampilkan hanya memuat subset 20 kelas pertama dari keseluruhan 105 kelas suku kata Braille. Visualisasi subset tersebut dilakukan agar tampilan confusion matrix lebih mudah dibaca dan tidak terlalu padat. Meskipun demikian, proses evaluasi model tetap dilakukan terhadap seluruh data uji, bukan hanya terhadap 20 kelas yang ditampilkan pada gambar. Seluruh data uji pada setiap kelas berhasil diprediksi secara tepat, ditunjukkan oleh nilai yang berada pada diagonal utama untuk masing-masing kelas, sedangkan seluruh nilai di luar diagonal bernilai 0. Hal ini berarti tidak terdapat kesalahan klasifikasi antar kelas pada subset yang ditampilkan. Dengan demikian, untuk 20 kelas pertama, model mampu membedakan pola citra Braille suku kata dengan tepat pada data uji yang digunakan.

Meskipun demikian, sistem masih memiliki keterbatasan. Hasil prediksi sangat dipengaruhi oleh kualitas foto, pencahayaan, ketajaman titik timbul, kemiringan kertas, dan performa model lama yang digunakan. Apabila titik Braille samar, terlalu dekat, terpotong, atau memiliki bayangan yang tidak konsisten, YOLO dapat gagal mendeteksi posisi karakter. Jika kotak deteksi tidak tepat, potongan citra yang masuk ke CNN juga tidak ideal sehingga hasil klasifikasi dapat melenceng. Hal ini menjelaskan mengapa kualitas segmentasi menjadi faktor penting sebelum klasifikasi dilakukan.

Keterbatasan lain terdapat pada aturan penggabungan suku kata. Sistem saat ini menggunakan pola sederhana konsonan-vokal. Pola tersebut sesuai untuk pembelajaran awal kelas 1, tetapi belum mencakup seluruh struktur kata bahasa Indonesia yang lebih kompleks. Oleh karena itu, pengembangan berikutnya dapat menambahkan kamus suku kata, model bahasa sederhana, validasi confidence, dan dataset khusus suku kata agar hasil pembacaan lebih stabil.

Dari sisi antarmuka, keputusan untuk menampilkan hasil dalam satu kontainer utama lebih sesuai untuk orang tua karena mengurangi beban visual. Tampilan suku kata dan grid suku kata tetap disediakan sebagai pilihan, bukan ditampilkan bersamaan. Dengan cara ini, pengguna dapat memilih apakah ingin melihat hasil per karakter atau hasil pembelajaran suku kata. Sinkronisasi suara dan grid juga memperjelas posisi bagian yang sedang dibaca.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan sistem bantu baca Braille karakter dan suku kata berbasis web menggunakan kombinasi YOLOv8 dan CNN. Sistem mampu menerima input melalui unggah gambar dan kamera, melakukan koreksi perspektif, mendeteksi suku kata, suku kata, menggabungkan karakter menjadi suku kata dan kata sederhana, serta membacakan hasil melalui suara pembelajaran. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem relevan digunakan sebagai media bantu awal bagi orang tua anak tunanetra SD kelas 1 karena antarmukanya sederhana dan hasilnya disajikan dalam bentuk visual serta audio.

Keterbatasan sistem terletak pada ketergantungan terhadap kualitas foto dan performa model. Deteksi dapat menurun ketika titik Braille tidak jelas, pencahayaan kurang stabil, kertas terlalu miring, atau karakter terpotong. Selain itu, aturan penggabungan suku kata masih sederhana sehingga belum mencakup seluruh variasi kata bahasa Indonesia. Pengembangan selanjutnya disarankan menambahkan evaluasi kuantitatif menggunakan dataset uji, confusion matrix, confidence score, model khusus suku kata, dan validasi berbasis kamus agar hasil pembacaan lebih akurat dan stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. H. Organization, "Blindness and vision impairment," World Health Organization, 2026.
- [2] M. Abadi, "TensorFlow: A system for large-scale machine learning," in *Proceedings of the 12th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation*, 2016, pp. 265–283.
- [3] I. M. A. D. Suarjaya, B. A. Wiratama, and A. Wirdiani, "Sistem Pengenalan Huruf Braille Menggunakan Metode Deep Learning Berbasis Website," *Jurnal Ilmiah Teknologi Sistem Informasi*, vol. 5, no. 3, pp. 93–99, 2024, doi: 10.62527/jitsi.5.3.244.
- [4] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, "Deep learning," *Nature*, vol. 521, pp. 436–444, 2015, doi: 10.1038/nature14539.
- [5] T. V. Y. G. Setiawan and E. H. Rachmawanto, "A Two-Stage Braille Recognition System Using YOLOv8 for Detection and CNN for Classification," *Journal of Applied Informatics and Computing*, vol. 9, no. 6, 2025, doi: 10.30871/jaic.v9i6.11483.
- [6] Z. Meng, Z. Cai, J. Feng, H. Ma, H. Zhang, and S. Li, "Braille Character Segmentation Algorithm Based on Gaussian Diffusion," *Computers, Materials & Continua*, vol. 79, no. 1, pp. 1481–1496, 2024, doi: 10.32604/cmc.2024.048002.
- [7] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2016, pp. 779–788.
- [8] A. Ridwan, Y. Purbolingga, and Hanisah, "Utilizing Convolutional Neural Network for Learning Web-Based Braille Letter Classification System," *Journal of Computer Networks, Architecture and High Performance Computing*, vol. 6, no. 1, 2024, doi: 10.47709/cnahpc.v6i1.3386.
- [9] I. G. Ovodov, "Optical Braille Recognition Using Object Detection CNN," 2020.
- [10] G. Bradski, "The OpenCV Library," *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*, 2000.