

Klasifikasi Sifat Huruf Hijaiyah Dengan Metode Convolutional Neural Network (CNN)

Siti Ruhu Salamah¹⁾, Asriyanik²⁾, Winda Apriandari³⁾

^{1), 2), 3)} Teknik Informatika, Univeritas Muhammadiyah Sukabumi

Jalan Raya Syamsudin, S.H. No. 50, Cikole, Kec. Cikole, Kota Sukabumi, Jawa Bara

Email : sruhusalamah19@gmail.com¹⁾, asriyanik263@ummi.ac.id²⁾, winda.apriandari@ummi.ac.id³⁾

ABSTRACT

Understanding the science of Tajweed, particularly the articulatory properties of hijaiyah letters, plays a crucial role in enhancing the quality of Quranic recitation. Despite its importance, research focused on classifying these properties within Quranic texts remains limited. Existing Tajweed learning tools often introduce letters at a basic level without utilizing deep learning technologies. This study proposes a CNN-based model to classify the phonetic characteristics of hijaiyah letters in Quranic texts. The dataset consists of image samples taken from quran.com, each labeled according to the phonetic categories outlined in the Tartil Al-Quran guidebook. The methodology includes image preprocessing, CNN training, and performance evaluation using accuracy, precision, recall, and F1-score. This research does not address audio or pronunciation aspects. Results show that the model achieved up to 99% classification accuracy. The findings highlight the potential of AI-powered tools to support Tajweed learning and contribute to the development of intelligent, technology-based Quranic education systems. This research serves as a foundation for future applications that blend classical Islamic knowledge with modern digital solutions.

Keywords : Al-Quran, Convolutional Neural Network, Classification, Hijaiyah Character.

ABSTRAK

Pemahaman terhadap ilmu tajwid, khususnya sifat-sifat huruf hijaiyah, memiliki peran penting dalam meningkatkan kualitas bacaan Al-Quran. Namun, masih sedikit penelitian yang secara khusus membahas klasifikasi sifat huruf hijaiyah. Selain itu, media pembelajaran tajwid saat ini umumnya hanya mengenal huruf hijaiyah secara umum dan belum memanfaatkan teknologi deep learning secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model klasifikasi sifat huruf hijaiyah menggunakan metode Convolutional Neural Network (CNN). Data yang digunakan berupa citra huruf hijaiyah yang diambil dalam situs quran.com dan diberi label berdasarkan panduan dalam buku Tartil Al-Qur'an. Metodologi penelitian mencakup pemrosesan dataset citra, pelatihan model CNN, serta evaluasi menggunakan metrik akurasi, presisi, recall, dan F1-score. Fokus penelitian ini terbatas pada klasifikasi sifat huruf berdasarkan citra teks, tanpa mencakup aspek suara atau pelafalan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode CNN mampu mengklasifikasi sifat huruf hijaiyah dengan tingkat akurasi hingga 99%. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap proses pembelajaran Al-Qur'an, khususnya dalam memahami sifat-sifat huruf hijaiyah. Selain itu, penelitian ini memiliki potensi untuk menjadi landasan dalam pengembangan aplikasi pembelajaran tajwid berbasis teknologi yang lebih interaktif, efektif, dan sesuai dengan kebutuhan di era digital saat ini.

Kata Kunci : Al-Quran, Convolutional Neural Network, Huruf Hijaiyah, Klasifikasi

1. Pendahuluan

Kemajuan teknologi saat ini telah memberikan pengaruh besar dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk dalam sektor pendidikan, sosial, politik dan agama (Nuraeni dkk., 2024). Di ranah keagamaan, teknologi memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai sarana pendukung dalam mempelajari kitab suci, khususnya Al-Qur'an. Al-Qur'an sebagai wahyu terakhir yang diturunkan Allah Subhanahu wa Ta'ala kepada Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi wa Sallam merupakan pedoman hidup bagi umat Islam. Namun, kenyataan menunjukkan bahwa sebagian umat Islam masih kurang memperhatikan kewajiban membaca dan memahami Al-Qur'an secara benar (Ramadhani & Ritonga, 2024).

Salah satu elemen krusial dalam membaca Al-Quran adalah penguasaan ilmu tajwid. Tajwid meliputi aturan-aturan yang mengatur cara pelafalan huruf hijaiyah, termasuk sifat-sifat yang melekat pada masing-masing huruf. Sifat huruf merupakan bagian fundamental dalam ilmu tajwid karena berperan dalam membedakan satu huruf dengan huruf lainnya dan menghindari kesalahan bacaan yang dapat mengubah makna (Dias Puspitasari & Anardani, 2023). Oleh karena itu kemampuan memahami dan menerapkan sifat huruf dalam Al-Quran menjadi hal yang esensial.

Alat pembelajaran berperan krusial dalam mendukung guru untuk menyampaikan materi dengan efektif, berfungsi sebagai media komunikasi dalam proses pendidikan (Wardani dkk., 2024). Era revolusi industri 4.0, orang harus mengubah cara mereka berfikir dan bertindak untuk menyesuaikan diri dengan kemajuan teknologi. Ini karena teknologi dan pendidikan sekarang saling melengkapi untuk membuat lingkungan belajar yang lebih efisien dan efektif (Waqor Bukhori dkk., 2024).

Bagian dari kecerdasan buatan yang memungkinkan sistem komputer belajar dari data adalah *deep learning*. *Deep learning* adalah salah satu cabang *machine learning* yang sangat relevan untuk pengelolaan data visual. Algoritma *Covolutional Neural Network* (CNN) adalah salah satu model terbaik dalam pengenalan huruf hijaiyah. Ini karena CNN dapat melakukan klasifikasi dan mengekstrak fitur dari gambar (Kurniawan, 2024).

Menurut penelitian sebelumnya, algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN) memiliki akurasi klasifikasi huruf 99,7%, mengalahkan Random Forest dengan akurasi 74% (Dias Puspitasari & Anardani, 2023). Namun, metode YOLOv5 cukup baik untuk deteksi *real-time* dengan akurasi 64-98%, tetapi tidak ideal untuk klasifikasi sifat huruf (Putri dkk., 2024). CNN dinilai lebih tepat karena kemampuannya dalam mengelola pola visual secara akurat pada citra (Veltin Sinaga dkk., 2024). Survei menunjukkan bahwa 44,3% mahasiswa jarang membaca Al-Quran, 5,2% belum mengenal ilmu tajwid, dan 33,9% mengalami kesulitan memahami sifat huruf. Kondisi ini menunjukkan bahwa media pembelajaran berbasis teknologi yang interaktif dan memiliki kemampuan untuk mengklasifikasikan

huruf secara otomatis sangat diperlukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model klasifikasi yang efisien dan akurat untuk mengenali sifat-sifat huruf hijaiyah yang ditemukan dalam Al-Quran melalui penerapan algoritma CNN, guna mendukung pembelajaran ilmu tajwid secara digital dan meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap sifat huruf hijaiyah.

2. Tinjauan Pustaka

Machine learning adalah bidang kecerdasan buatan yang memungkinkan belajar pada data dan secara otomatis mengambil keputusan, teknologi ini mendukung mengambil keputusan dengan menganalisis pola dalam data (Prasetyo & Dewayanto, 2024).

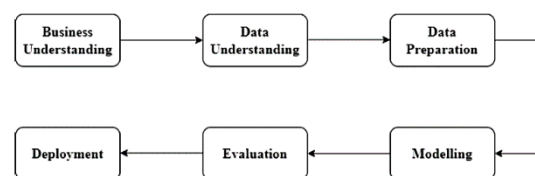
Deep Learning merupakan pengembangan dari *Machine Learning* yang menggunakan jaringan saraf tiruan untuk mengenali pola kompleks dalam data. Pendekatan ini sangat efektif untuk tugas seperti pengenalan gambar, suara, dan bahasa alami (Lubis dkk., 2024). Prosesnya terdiri dari tahap pelatihan sampai pengujian, di mana model belajar membedakan data berdasarkan label selama pelatihan, dan diuji pada data baru saat uji coba (Ibnul Rasidi dkk., 2022).

Metodologi CRISP-DM sering digunakan dalam pengembangan sistem berbasis data. Metode ini mencakup enam tahapan utama, mulai dari *Business Understanding*, *Data Understanding*, *Data Preparation*, *Modelling*, *Evaluasi* dan *Deployment* (Rianti dkk., 2023).

Convolutional Neural Network (CNN) adalah arsitektur *Deep Learning* yang banyak digunakan untuk pengolahan citra. CNN bekerja melalui lapisan konvolusi dan *pooling* untuk mengenali fitur visual dan belajar secara otomatis dari gambar (Febriyanti, 2024). MobileNetV2 merupakan versi ringan dari CNN, yang dirancang efisien untuk perangkat dengan keterbatasan sumber daya, dengan fitur *linear bottleneck* dan *shortcut connection* untuk mempercepat pelatihan (Miftahuddin & S Zaelani, 2022).

3. Metodologi Penelitian

Metode CRIPS-DM (*Cross Industry Standard Preocess for Data Mining*) yaitu model proses umum yang digunakan secara luas dalam aktivitas data mining di berbagai industri (Muttaqin dkk., 2024). Metode tersebut terdiri dari enam tahap utama, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Alur Metode CRISP-DM

3.1 Business Understanding

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model klasifikasi berbasis *deep learning* yang dapat mengenali 28 huruf hijaiyah. Metode *Convolutional Neural Network* (CNN) dipilih karna kemampuannya secara tepat mengenali pola-pola visual yang terdapat dalam gambar potongan huruf hijaiyah pada Al-Quran.

3.2 Data Understanding

Data yang dipakai adalah gambar hijaiyah dari mushaf Al-Quran, yang memiliki letak huruf di awal, tengah, akhir satu huruf yang berdiri sendiri. Total dataset mencapai 840 gambar yang mencakup semua keseluruhan huruf hijaiyah.

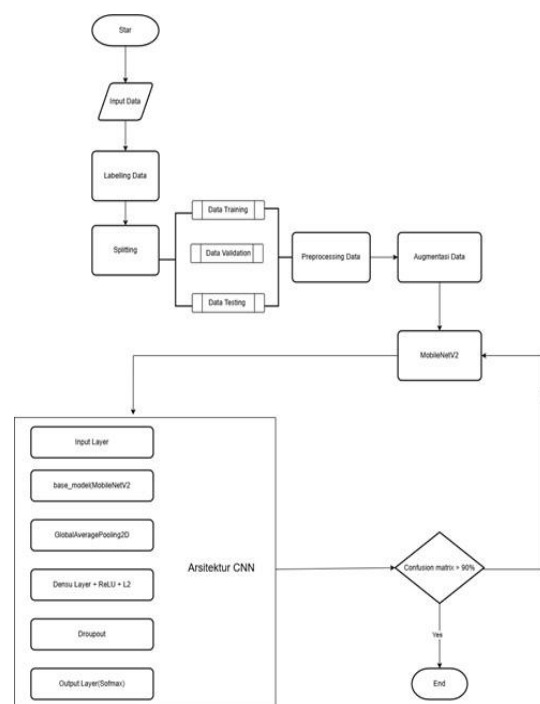
3.3 Data Preparation

Tahap ini meliputi pembersihan serta pengolahan data sehingga siap dalam pelatihan model. Langkah-langkah yang dilakukan mencakup.

- Pelabelan, menandai setiap foto berdasarkan huruf hijaiyah sebagai acuan klasifikasi.
- Preprocessing*, ukuran gambar diubah menjadi 224x224 piksel dan dinormalisasi untuk meningkatkan efisiensi dalam pengolahan.
- Augmentasi*, data diperbanyak menggunakan teknik rotasi, *flipping*, *zooming*, translasi, dan penyesuaian kontras untuk meningkatkan variasi serta ketahanan model terhadap *overfitting*.

3.4 Modelling

Arsitektur model mengadopsi MobileNetV2 sebagai pengambil fitur yang efisien dan tepat. Setelah lapisan input, diterapkan *GlobalAveragePooling2D* untuk mengurangi ukuran dimensi, kemudian diikuti oleh lapisan dense dengan aktifitas ReLU. Sebuah lapisan *dropout* ditambah untuk menekan kemungkinan *overfitting*, dan lapisan output menerapkan fungsi *softmax* untuk memberikan probabilitas klasifikasi multi-kelas. Sebagaimana terdapat pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Flowchart Model

3.5 Model Evaluation

Evaluasi pada model dilakukan dengan memanfaatkan dataset pengujian yang terpisah dari dataset pelatihan, agar terhindar dari masalah *overfitting*. Indikator yang digunakan mencakup akurasi, presisi, *recall*, serta *F1-Score*. Dalam prosesnya evaluasi ini, pustaka *TensorFlow* digunakan untuk menghitung metrik kinerja dengan cara yang otomatis dan efektif.

3.6 Deployment

Hasil dari pemodelan telah diterapkan dalam bentuk aplikasi berbasis web untuk memberikan karakter huruf hijaiyah dan mengenali sifat huruf yang melekat dengan cara yang interaktif.

4. Hasil dan Pembahasan

Memuat pelatihan model guna mengenali pola-pola visual dari 28 huruf hijaiyah untuk mengetahui sifat huruf apa saja yang melekat pada setiap huruf, berdasarkan cita huruf pada Al-Quran. Model dilatih untuk terlebih dahulu mengklasifikasi gambar kedalam kategori huruf hijaiyah yang sesuai. Setelah huruf dikenali dengan akurat, hasil klasifikasi tersebut kemudian di petakan dalam sifat-sifat huruf. Proses pelatihan melibatkan data latihan untuk membangun kemampuan model dalam mengklasifikasi huruf hijaiyah secara akurat. Model dilatih dengan menggunakan *tools TensorFlow* dan *keras*, sementara *Google Colab* digunakan sebagai lingkungan pengembangan dan implementasi kode program

4.1 Business Understanding

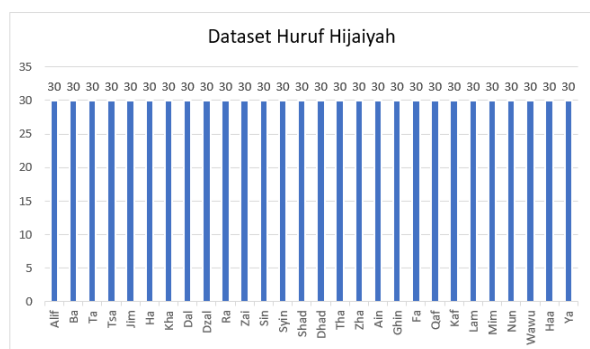
Langkah awal pada tahapan ini adalah pemahaman mengenai memanfaatkan teknologi pengenalan pola berbasis gambar untuk mendukung pembelajaran Al-Quran mengenai pengenalan karakteristik huruf hijaiyah. Fokus utama dalam penelitian ini adalah mengembangkan model klasifikasi yang mampu secara otomatis mengenali huruf hijaiyah beserta sifatnya. Peroyek ini menggunakan algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN), yang mencakup pengumpulan, pengelolaan, penilaian, dan optimalisasi dataset huruf hijaiyah untuk meningkatkan akurasi dalam proses klasifikasi sesuai dengan kaidah tajwid.

4.2 Data Understanding

Dataset terdiri dari potongan gambar huruf hijaiyah yang di peroleh dari situs resmi quran.com menggunakan alat *Snipping Tool*. Gambar diambil dari tiga posisi penulisan (awal, tengah, akhir kata) untuk masing-masing dari 28 huruf hijaiyah. Sumber rujukan utama yang diggunakan adalah buku "Risallah Tartil Al-Quran" karya Alm.Iran Permana Abu Hawariyyah.



Gambar 4. 1 Dataset huruf "ain"



Gambar 4. 2 Dataset Huruf Hijaiyah

Jumlah data awal sebanyak 840 gambar, namun ditemukan beberapa kendala seperti ukuran gambar yang tidak seragam dan jumlah data perkelas yang terbatas. Untuk itu dilakukan pemrosesan lebih lanjut dan *augmentasi* agar *dataset* menjadi lebih seragam dan seimbang.

4.3 Data Preparation

Data Preparation adalah fase untuk menyiapkan data agar siap digunakan dalam pelatihan model. Proses ini meliputi labelling, resizing, normalisasi dan *augmentasi*.

Tabel 4. 1 Jumlah Dataset huruf hijaiya

No	Huruf	Jumlah Data
1	Alif	30

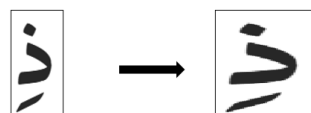
No	Huruf	Jumlah Data
2	Ba	30
3	Ta	30
4	Tsa	30
5	Jim	30
6	Ha	30
7	Kha	30
8	Dal	30
9	Dzal	30
10	Ra	30
11	Zai	30
12	Sin	30
13	Syin	30
14	Shad	30
15	Dhad	30
16	Tha	30
17	Zha	30
18	Ain	30
19	Ghin	30
20	Fa	30
21	Qaf	30
22	Kaf	30
23	Lam	30
24	Mim	30
25	Nun	30
26	Wawu	30
27	Haa	30
28	Ya	30
Jumlah Data		840

a. Labeling

Gambar diberi label sesuai dengan huruf hijaiyah dan dibagi menjadi tiga bagian *dataset* diantaranya: data latih (80%), data validasi (10%), dan data uji (10%).

b. Rasizing

gambar gambar yang terdapat dalam *dataset* memiliki tingkat resolusi yang berbeda-beda, sehingga perlu dilakukan proses pengubahan ukuran untuk menyamakan dimensinya sebelum digunakan dalam penelitian model. Semua gambar diubah menjadi ukuran 244x244 piksel dengan memanfaatkan fungsi *load_img* dan menentukan parameter *target_size*, kemudian dikomversi menjadi array melalui fungsi *img_to_array* untuk diproses lebih lanjut.



Gambar 4. 3 Gambar yang telah diresizing

c. Normalisasi Gambar

normalisasi citra bertujuan untuk menyamakan nilai-nilai piksel, sehingga berbeda dalam rentang 0 hingga 1. Proses normalisasi dilakukan dengan menggunakan parameter *rescale=1/255*, yang berarti setiap nilai piksel akan dibagi dengan 255.

d. Augmentasi

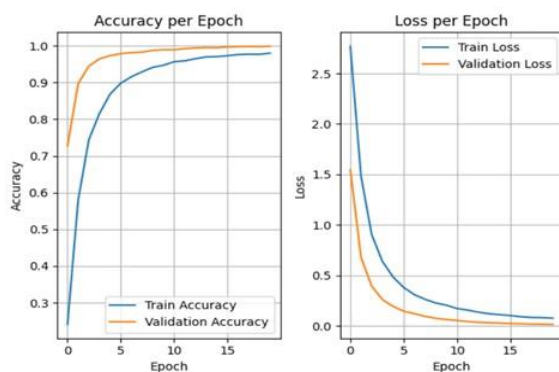
Augmentasi gambar digunakan untuk meningkatkan performa model dengan menambah jumlah dan variasi data. Dari 840 gambar awal, proses *augmentasi* diterapkan pada data pelatihan dan validasi menggunakan keras ImageDataGenerator. Teknik *augmentasi* mencakup rotasi hingga 15 derajat, pergeseran *horizontal* dan *vertikal* hingga 10%, kemiringan hingga 20%, serta *zoom in* dan *zoom out* sebesar 20%. Gambar tidak diputar atau dicerminkan karna dapat mengubah makna huruf hijaiyah. Area kosong akibat transformasi diisi menggunakan `fill_mode='nearest'`. Hasilnya, jumlah *dataset* bertambah menjadi 16.800 gambar, dengan setiap gambar asli diubah menjadi 20 variasi baru.



Gambar 4. 4 Hasil Augmentasi huruf "Mim"

4.4 Modeling

Tahap pemodelan menggunakan arsitektur *Convolutional neural network* (CNN) dimulai dengan memuat data melalui *imageDataGenerator*, yang membagi *dataset* menjadi data latih, validasi, dan pengujian. Model terdiri dari tiga lapisan konvolusi dengan jumlah filter berturut-turut 32, 36, dan 128, masing-masing menggunakan fungsi aktivitas ReLU dan diikuti oleh *MaxPooling2D* untuk mereduksi dimensi spasial. Setelah ekstraksi fitur, digunakan *Flatten Layer* yang terhubung *Dense layer* dengan 512 neuron dan aktivasi output memiliki 28 neuron dengan aktivasi *softmax* untuk klasifikasi multi-kelas. Model dikompilasi menggunakan *Adam Optimizer* dengan *categorical_crossentropy* sebagai fungsi *loss*, serta dilatih 20 *epoch* dengan *batch size* 32. Berikut merupakan hasil akurasi:

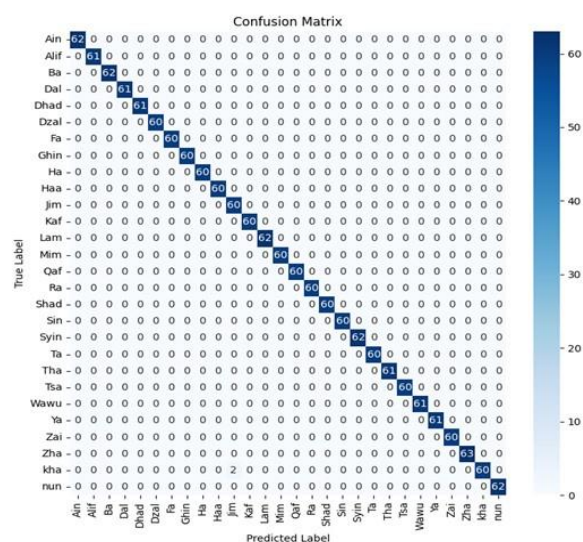


Gambar 3. 3 hasil Akurasi

menunjukkan peningkatan akurasi yang stabil pada data latih dan validasi, mendekati nilai 1.0, menandakan bahwa model mampu mempelajari pola dengan baik. Penurunan nilai *loss* yang konsisten pada kedua data juga menunjukkan tidak terjadinya *overfitting*. Model berhasil mencapai akurasi validasi sekitar 97%, yang menunjukkan performa yang baik dalam mengklasifikasikan huruf hijaiyah berdasarkan *dataset* yang digunakan.

4.5 Model Evaluasi

Setelah tahap pemodelan selesai, dilakukan evaluasi untuk mengukur sejauh mana kemampuan model dalam mempelajari dan mengklasifikasikan data. Evaluasi ini menggunakan *confusional matrix* sebagai alat utama, yang kemudian digunakan untuk menghitung metrik evaluasi seperti akurasi, *presisi*, *recall*, dan *f1-score* guna menilai performa model secara menyeluruh.



Gambar 4. 5 confusional matrix

Hasil evaluasi melalui matriks konvolusi menunjukkan bahwa model klasifikasi huruf hijaiyah dapat dengan mudah mengidentifikasi setiap kelas huruf. Hal ini ditunjukkan oleh dominasi nilai tinggi pada diagonal utama, berkisar antara 60-63, serta minimnya nilai pada elemen lain diluar diagonal. Kesalahan klasifikasi hanya terjadi satu kali, yaitu huruf "kha" yang keliru diklasifikasikan sebagai "Jim". Secara keseluruhan model menunjukkan performa klasifikasi yang optimal dengan tingkat kesalahan yang rendah.

	precision	recall	f1-score	support
Ain	1.00	1.00	1.00	62
Alif	1.00	1.00	1.00	61
Ba	1.00	1.00	1.00	62
Dal	1.00	1.00	1.00	61
Dhad	1.00	1.00	1.00	61
Dzal	1.00	1.00	1.00	60
Fa	1.00	1.00	1.00	60
Ghin	1.00	1.00	1.00	60
Ha	1.00	1.00	1.00	60
Haa	1.00	1.00	1.00	60
Jim	0.97	1.00	0.98	60
Kaf	1.00	1.00	1.00	60
Lam	1.00	1.00	1.00	62
Mim	1.00	1.00	1.00	60
Qaf	1.00	1.00	1.00	60
Ra	1.00	1.00	1.00	60
Shad	1.00	1.00	1.00	60
Sin	1.00	1.00	1.00	60
Syin	1.00	1.00	1.00	62
Ta	1.00	1.00	1.00	60
Tha	1.00	1.00	1.00	61
Tsa	1.00	1.00	1.00	60
Wawu	1.00	1.00	1.00	61
Ya	1.00	1.00	1.00	61
Zai	1.00	1.00	1.00	60
Zha	1.00	1.00	1.00	63
kha	1.00	0.97	0.98	62
nun	1.00	1.00	1.00	62
accuracy			1.00	1701
macro avg	1.00	1.00	1.00	1701
weighted avg	1.00	1.00	1.00	1701

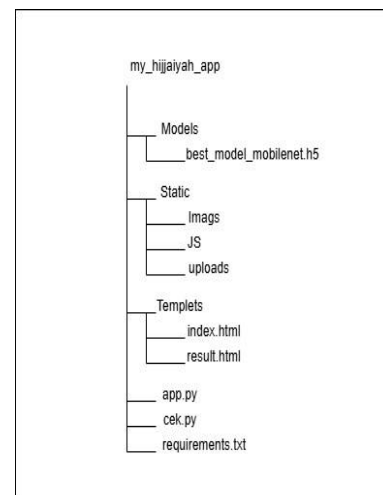
Gambar 4.6 Hasil Evaluasi Model

Hasil penilaian menunjukkan bahwa model ini memiliki tingkat akurasi klasifikasi yang baik dan konsisten di setiap kategori huruf hijaiyah. Hanya dua huruf, yaitu “Jim” dan “Kha” yang memiliki sedikit penurunan nilai *precision* (0.97) dan *F1-score* (0.98), meskipun *recall* tetap sempurna diangka 1.00, mengidentifikasi adanya sedikit kesalahan pada prediksi positif.

Sebagai contoh, perhitungan matrik untuk huruf “Jim” berdasarkan *confusion matrix* menunjukkan nilai *recall* sebesar 0.97, *precision* 1.00, *accuracy* sekitar 0.9994, dan *F1-score* sebesar 0.98. secara keseluruhan model mencapai akurasi total 100% dari 1701 gambar yang di uji, baik pada *marco average* maupun *weighted average*. Nilai *support* yang merata pada seluruh kelas (antara 60-63) juga menunjukkan distribusi data yang seimbang, serta performa model yang baik dan konsisten antar kelas.

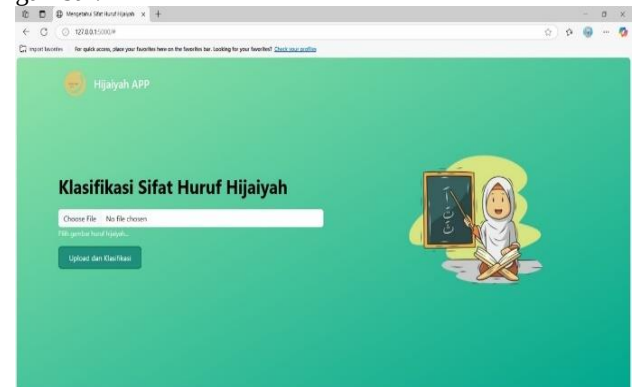
4.6 Deployment

Tahap *deployment* adalah fase akhir dalam pengembangan, dimana model yang telah dilatih diimplementasikan ke dalam sebuah aplikasi web menggunakan *framework* Flask. Sementara Flask berfungsi sebagai server untuk mengelola proses pengkategorian, tampilan pengguna dibuat menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript. Aplikasi web ini memiliki dua fitur utama, yaitu halaman untuk mengunggah gambar dan halaman untuk menampilkan hasil klasifikasi. Dibawah ini adalah stuktur proyek Falsk yang diterapkan dalam tahap deployment.



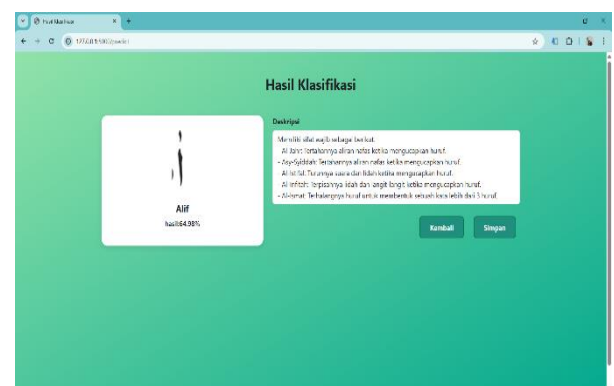
Gambar 4.7 Struktur Directory Flask

Halaman utama yaitu tampilan antar muka website yang dapat mengidentifikasi huruf hijaiyah dengan upload gambar.



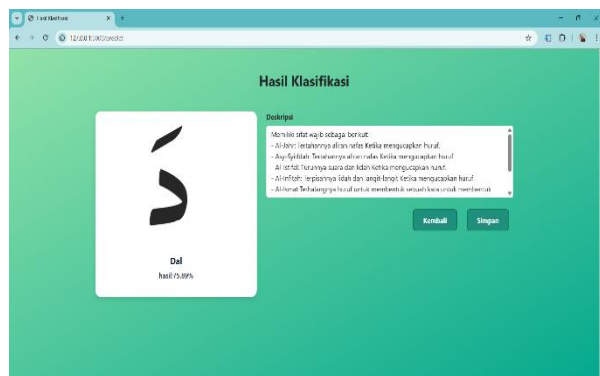
Gambar 4.8 Tampilan antar muka website

Percobaan pertama mengklasifikasikan bagian tengah dari huruf hijaiyah “Alif” dengan membahas karakteristik sifat huruf yang terkait dengan huruf hijaiyah yaitu sifat Al-Jahr, Asy-Syiddah, Al-Istifal, Al-Infatih, dan Al-Ismat tersebut beserta penjelasannya dan seberapa tepat huruf tersebut.



Gambar 4.9 Tampilan Klasifikasi hijaiyah "Alif"

Percobaan kedua mengklasifikasi huruf “Dal” dengan sifat huruf yang melekat diantaranya sifat wajib Al-Jahrm Asy-Syiddah, Al-Istifal, Al-Infatih dan Al-Ishmat serta sifat tambahan Al-Qolqolah.



Gambar 4. 10 Tampilan Klasifikasi hijaiyah "Dal"

5. Simpulan dan Saran

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan CNN efektif dalam mengklasifikasikan huruf hijaiyah beserta sifatnya secara akurat. Dengan arsitektur tiga lapisan konvolusi berfilter 32, 64, dan 128, diikuti MaxPooling2D, serta Densi Layer berisi 512 *neuron* dan *output layer* dengan 28 *neuron softmax*, model mampu mengelola gambar berukuran 224x224 piksel secara optimal. Dari 840 *dataset* awal yang telah *diaugmentasi* menjadi 16.800 gambar, yang dibagi ke dalam data latih sebanyak 13.544, data validasi 1.687, dan data pengujian 1.701. model dilatih selama 20 epoch dengan *batch size* 32, menghasilkan akurasi sempurna 100% pada data uji serta nilai *loss* yang sangat rendah, menunjukkan kemampuan generalisasi yang baik. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan agar dataset diperluas dengan variasi yang lebih banyak per kelas, arsitektur CNN ditingkatkan, serta model dikembangkan untuk mengklasifikasikan sifat huruf dalam satu kalimat secara *real-time* menggunakan kamera.

Daftar Pustaka

- Dias Puspitasari, F., & Anardani, S. (2023a). *Aplikasi Klasifikasi Huruf Hijaiyah Menggunakan Algoritma Convolutional Neural Network dan Random Forest*.
- Dias Puspitasari, F., & Anardani, S. (2023b). *Aplikasi Klasifikasi Huruf Hijaiyah Menggunakan Algoritma Convolutional Neural Network dan Random Forest*.
- Febriyanti, F. A. (2024). *IMAGE PROCESSING DENGAN METODE CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN) UNTUK DETEKSI PENYAKIT KULIT PADA MANUSIA*. 3. <https://ejournal.warunayama.org/kohesi>
- Ibnul Rasidi, A., Pasaribu, Y. A. H., Ziqri, A., & Adhinata, F. D. (2022). Klasifikasi Sampah Organik dan Non-Organik Menggunakan Convolutional Neural Network. *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, 8(1). <https://doi.org/10.28932/jutisi.v8i1.4314>
- Kurniawan, M. H. (2024). *APLIKASI IDENTIFIKASI KENDARAAN KARYAWAN DENGAN METODE CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN)*.
- Lubis, N., Siambaton, Mhd. Z., & Aulia, R. (2024). Implementasi Algoritma Deep Learning pada Aplikasi Speech to Text Online dengan Metode Recurrent Neural Network (RNN). *sudo Jurnal Teknik Informatika*, 3(3), 113–126. <https://doi.org/10.56211/sudo.v3i3.583>
- Miftahuddin, Y., & S Zaelani, F. (2022). Perbandingan Metode Efficientnet-B3 dan Mobilenet-V2 Untuk Identifikasi Jenis Buah-buahan Menggunakan Fitur Daun. Dalam *Fiqry Zaelani S Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan* (Vol. 9, Nomor 1).
- Muttaqin, aab A., Alam, S., & Komara, M. A. (2024). ANALISIS SENTIMEN ISU KECURANGAN PEMILU 2024 BERDASARKAN OPINI PADA MEDIA SOSIAL TWITTER MENGGUNAKAN METODE CRISP-DM DENGAN ALGORITMA NAÏVE BAYES CLASSIFIER. Dalam *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika* (Vol. 8, Nomor 5).
- Nuraeni, F., Asriyanik, A., & Pambudi, A. (2024). IMPLEMENTASI ALGORITMA CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN) UNTUK PENGENALAN BACAAN TAJWID BERDASARKAN GAMBAR TULISAN DALAM AL-QUR'AN. Dalam *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika* (Vol. 8, Nomor 5).
- Prasetyo, S., & Dewayanto, T. (2024). PENERAPAN MACHINE LEARNING, DEEP LEARNING, DAN DATA MINING DALAM DETEKSI KECURANGAN LAPORAN KEUANGAN-A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW. *DIPONEGORO JOURNAL OF ACCOUNTING*, 13(3), 1–12. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/accounting>
- Putri, A. R., Dewi, R., & Ramiati, R. (2024). Penerapan Metode Yolov5 dan Teknologi Text-To-Speech dalam Aplikasi Pengenalan Abjad dan Objek Sekitar untuk Anak Usia Dini. *Elektron : Jurnal Ilmiah*, 94–101. <https://doi.org/10.30630/eji.0.0.423>
- Ramadhani, A. R., & Ritonga, M. (2024). Implementasi Tahsin Alquran dalam Meningkatkan Kualitas Bacaan Alquran Ibu-Ibu di Majelis Ta'lim Al-Hikmah Peruri. *Al-Muhith: Jurnal Ilmu Qur'an dan Hadits*, 3(1), 18. <https://doi.org/10.35931/am.v3i1.3732>
- Rianti, A., Abdul Majid, N. W., & Fauzi, A. (2023). *CRISP-DM: Metodologi Proyek Data Science*.
- Veltin Sinaga, M. H., Albirra, M., & Fajar Sidik, M. (2024). *Klasifikasi Gambar Pemandangan dengan Kecerdasan Buatan Berbasis CNN*.
- Waqor Bukhori, M., Giyaatusshidqi, M., Agustina, N., & Sabilal Huda, Y. (2024). *Implementasi Penggunaan AI Dalam Proses Pembelajaran Mahasiswa Teknologi Pendidikan Angkatan 2023*.
- Wardani, N. W., Kusumaningsih, W., & Kusniati, S. (2024). Analisis Penggunaan Media Pembelajaran terhadap Hasil Belajar Siswa Sekolah Dasar. Dalam *Jurnal Inovasi, Evaluasi, dan Pengembangan Pembelajaran (JIEPP)* (Vol. 4, Nomor 1). <http://journal.ainarapress.org/index.php/jiepp>