



Klasifikasi Huruf Hijaiyah Berbasis Citra Digital Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (CNN)

Firyal Nabila Ulya H.M¹, Bambang Irawan², Abdul Khamid³

^{1,2}Program Studi Teknik Informatika, Universitas Muhadi Setiabudi, Indonesia

³Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhadi Setiabudi, Indonesia

Email author: nabilaulya2509@gmail.com¹, bambangumus@gmail.com², abdulkhamid.mt@gmail.com³

Article Info

Article history:

Received September 3, 2025

Revised Desember 3, 2025

Accepted Desember 12, 2025

Keywords:

CNN

Digital image classification

Hijaiyah Letters

Keras

Tensor Flow

ABSTRACT

Hijaiyah letters have varying shapes, and some of them are very similar, often causing errors in the manual character recognition process. This study aims to classify Hijaiyah letters based on digital images using the Convolutional Neural Network (CNN) method. This method was used in this study with a dataset consisting of 28 letter classes and a total of 4,480 images obtained from various public sources and private data. All images underwent a preprocessing stage that included labeling, resizing, normalization, and augmentation, then were divided into three parts, namely training data, validation data, and test data with a ratio of 70:20:10. The training process was carried out using the Python programming language with the help of the TensorFlow and Keras libraries on the Google Colab platform. The test results showed that the CNN model achieved an accuracy of 97.10%, with an average precision, recall, and F1-score of 0.97, respectively. Classification errors only occurred in letters that had similar shapes, such as Syin and Sin. Based on these results, the CNN method proved to be effective, efficient, and accurate in recognizing Hijaiyah letter image patterns, so it can be used as a basis for developing classification models with higher accuracy in the future.

Corresponding Author:

Firyal Nabila Ulya H.M,

Universitas Muhadi SetiaBudi

Jl. Pangeran Diponegoro No,KM2, Rw.11, Pesantunan, Kec. Wanasari, Kabupaten Brebes, Jawa Tengah

Email: nabilaulya2509@gmail.com



1. PENDAHULUAN

Pengenalan huruf Hijaiyah merupakan salah satu langkah terpenting dalam proses pembelajaran Al-Qur'an. Huruf-huruf Hijaiyah menjadi dasar utama dalam memahami dan membaca Al-Qur'an, sehingga penguasaannya merupakan syarat dasar bagi setiap Muslim. Menurut para ulama tajwid, huruf hijaiyah yang digunakan dalam Al-Qur'an berjumlah 28 huruf, yaitu Alif (ا), Ba' (ب), Ta' (ت), Tsa' (ث), Jim (ج), Ha' (ح), Kha' (خ), Dal (د), Dzal (ذ), Ra' (ر), Za' (ز), Sin (س), Syin (ش), Shad (ص), Dhad (ض), Tha' (ط), Zha' (ظ), 'Ain (ع), Ghayn (غ), Fa' (ف), Qaf (ق), Kaf (ك), Lam (ل), Mim (م), Nun (ن), Wawu (و), Ha' (ه), dan Ya' (ي) sebagai huruf terakhir [1]. Setiap huruf tersebut memiliki bentuk, titik, dan cara penulisan yang khas, yang menjadi pembeda

antara satu huruf dengan huruf lainnya. Namun, dalam praktiknya, metode pembelajaran tradisional sering kali kurang efektif dalam menarik minat serta mempertahankan fokus peserta didik, khususnya anak-anak [2]. Hal ini menyebabkan menurunnya motivasi belajar dan lambatnya kemampuan mereka terhadap pengenalan bentuk huruf Hijaiyah. Selain itu, beberapa huruf hijaiyah memiliki bentuk yang hampir mirip satu sama lain, seperti Ba' (ب), Ta' (ت), Tsa' (ث), Dal (د), Dzal (ذ), sehingga pembelajar pemula sering kali mengalami kesulitan dalam mengenalinya [3]. Pemahaman terhadap seluruh bentuk huruf ini memerlukan pendekatan yang mampu mengenali serta mengelompokkan bentuk huruf secara akurat dan konsisten.

Seiring berkembangnya teknologi, berbagai penelitian mulai memanfaatkan pengolahan citra digital untuk meningkatkan akurasi dalam mengenali bentuk huruf. *Convolutional Neural Network* (CNN) merupakan salah satu metode yang sering digunakan, yang mampu mengekstraksi fitur visual secara otomatis dan mengklasifikasikan citra berdasarkan pola yang terdeteksi. CNN merupakan komponen dari deep learning yang sering digunakan untuk pengenalan citra [4]. Penelitian oleh Wiratna *et al.* (2021) menunjukkan bahwa CNN mampu mengenali karakter huruf Hijaiyah berbasis citra digital dengan akurasi mencapai 94,94% [3]. Selain itu, penelitian yang dilakukan Abror *et al.* (2022) mengembangkan sistem *pattern recognition* tulisan tangan huruf Hijaiyah dan memperoleh akurasi sebesar 75% [1]. Penelitian oleh Kasim *et al.* (2022) CNN untuk pola tulisan tangan aksara arab mencapai akurasi sekitar 78,10% menunjukkan peningkatan yang signifikan dengan variasi dataset berdasarkan usia [5]. Kemudian, Nuraeni *et al.* (2024) dengan menggunakan algoritma CNN untuk pembacaan tajwid berdasarkan teks Al-Qur'an, hasil menunjukkan akurasi sebesar 92,68% untuk data pelatihan dan 95,10% untuk data validasi [6]. Hasil dari studi yang disebutkan diatas menunjukkan bahwa CNN memiliki potensi yang signifikan untuk diterapkan dalam sistem pengenalan dan klasifikasi huruf Hijaiyah berbasis citra digital, sehingga menjadi dasar bagi penelitian ini untuk mengembangkan model klasifikasi yang lebih optimal.

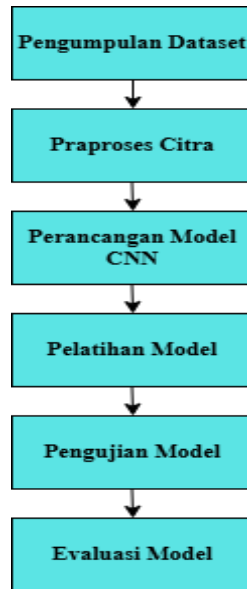
Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, metode CNN memiliki potensi tinggi dalam meningkatkan akurasi klasifikasi citra huruf Hijaiyah. Namun, masih ada peluang untuk mencapai hasil yang lebih baik dengan menggunakan model CNN yang dilengkapi dengan parameter dan data yang lebih sesuai. Oleh karena itu penelitian ini berfokus pada klasifikasi huruf Hijaiyah berbasis citra digital menggunakan metode CNN dengan tujuan mengevaluasi performa model dalam mengenali pola huruf Hijaiyah secara akurat tanpa melakukan implementasi sistem berbasis website. Diharapkan hasil penelitian ini dapat berkontribusi pada pengembangan metodologi klasifikasi huruf Hijaiyah berbasis kecerdasan buatan serta menjadi dasar bagi penelitian selanjutnya dalam pengembangan sistem pembelajaran huruf Hijaiyah digital yang lebih efektif dan akurat.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental berbasis komputasi, seluruh proses dilakukan dengan melatih dan menguji performa model *Convolutional Neural Network* terhadap dataset huruf Hijaiyah. Pendekatan kuantitatif digunakan karena pengukuran hasil penelitian dilakukan menggunakan metrik numerik seperti akurasi, presisi, recall, dan F1-score [7]. Sifat eksperimental muncul karena model CNN diuji secara langsung melalui proses pelatihan dan validasi untuk menemukan parameter terbaik dalam klasifikasi huruf Hijaiyah [8]. CNN dipilih karena terbukti mampu mendeteksi dan mengenali pola visual kompleks secara efektif pada citra digital dua dimensi [9]. CNN adalah komponen dari *Deep learning* yang memiliki kemampuan untuk mengenali pola visual serta melakukan klasifikasi objek pada gambar dua dimensi [10]. *Deep learning* adalah cabang dari *machine learning* yang dapat melatih komputer untuk melakukan tugas-tugas manusia dengan cara belajar melalui pelatihan (*training*) [11].

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk mengklasifikasikan gambar huruf hijaiyah.



Gambar 2.1 Tahap Penelitian

Tahapan penelitian meliputi :

1. Pengumpulan Dataset
Pengumpulan dataset huruf hijaiyah dari dua sumber, Yaitu dataset publik Kaggle dan data pribadi yang dikumpulkan oleh peneliti dari hasil dokumentasi langsung.
2. Praproses Citra
Citra huruf hijaiyah dipersiapkan melalui tahapan labeling, resizing, normalisasi, augmentasi, dan pembagian dataset. Tujuannya agar menghasilkan data yang seragam dan siap digunakan oleh model CNN
3. Perancangan Model CNN
Pada tahap ini dirancang arsitektur jaringan CNN yang terdiri dari beberapa lapisan yang kompleks, pooling, dan lapisan sepenuhnya terhubung. Penentuan fungsi aktivasi, optimizer, serta parameter pelatihan juga dilakukan di tahap ini.
4. Pelatihan Model
Model ini dikembangkan menggunakan data pelatihan dan divalidasi menggunakan data validasi. Proses ini menggunakan *callback* seperti *EarlyStopping* dan *ModelCheckpoint* untuk mencegah *overfitting* serta menjaga performa model.
5. Pengujian Model
Pada tahap ini model diuji menggunakan data uji yang belum pernah digunakan sebelumnya. Tujuannya untuk meningkatkan kemampuan model dalam menggeneralisasi terhadap data baru.
6. Evaluasi Model
Hasil pengujian dilakukan dengan menganalisis metrik evaluasi seperti akurasi, presisi, recall, dan F1-score untuk menilai sejauh mana model CNN berhasil mengenali citra huruf hijaiyah.

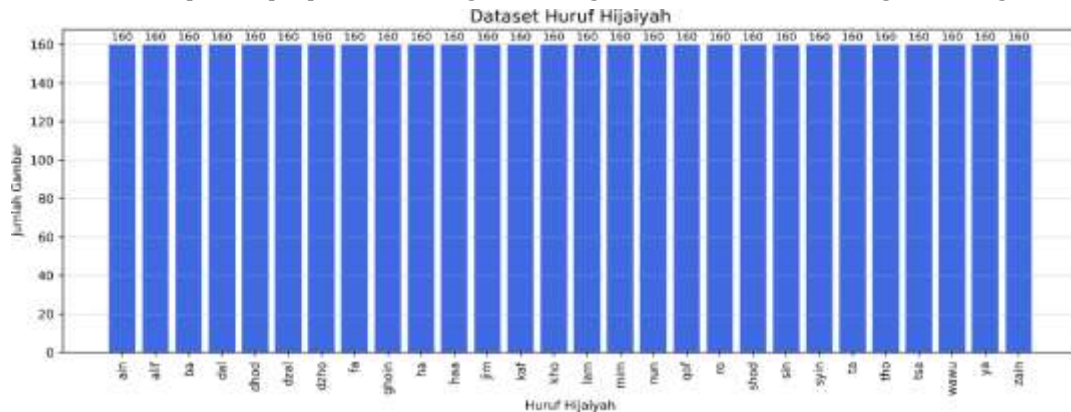
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses analisis model dilakukan untuk menganalisis pola-pola visual dari 28 huruf hijaiyah berbasis citra digital. Model CNN dilatih agar mampu mengklasifikasikan setiap citra ke dalam kelas huruf hijaiyah yang sesuai berdasarkan bentuk dan pola visual. Proses pelatihan dijalankan di *Google colab* menggunakan Bahasa pemrograman *python* dengan Pustaka *Tensorflow* dan *keras* untuk membangun dan melatih model.

3.1. Pengumpulan Dataset

Dataset yang digunakan berjumlah 4.480 citra huruf hijaiyah yang terdiri dari 28 kelas huruf setiap kelas memiliki 160 citra. Dataset yang digunakan terdiri atas citra huruf hijaiyah yang diambil dari dua sumber, yaitu dataset publik dari Kaggle dan data pribadi hasil pengumpulan langsung. Setiap

citra memiliki variasi gaya tulisan, ketebalan garis, kemiringan yang berbeda untuk memperbanyak keragaman data dan meningkatkan kemampuan generalisasi model. Namun, selama proses pengumpulan data ditemukan kendala, seperti ukuran gambar yang tidak seragam. Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan proses praproses dan augmentasi agar dataset lebih seimbang dan seragam.



Gambar 3.1 Dataset Huruf Hijaiyah

3.2. Praproses Citra

Pada tahap ini, data disiapkan agar dapat digunakan pada tahap pelatihan model CNN. Proses ini terdiri dari sejumlah tahapan, yaitu labeling, resizing, normalisasi, augmentasi dan pembagian dataset. Tabel 1 menunjukkan jumlah citra pada setiap kelas huruf hijaiyah yang diterapkan dalam penelitian ini.

Tabel 3.1 Jumlah Dataset Huruf Hijaiyah

No	Kelas	Train	Validasi	Test	Total
1	Alif	112	32	16	160
2	Ba	112	32	16	160
3	Ta	112	32	16	160
4	Tsa	112	32	16	160
5	Jim	112	32	16	160
6	Haa	112	32	16	160
7	Kho	112	32	16	160
8	Dal	112	32	16	160
9	Dzal	112	32	16	160
10	Ro	112	32	16	160
11	Zain	112	32	16	160
12	Sin	112	32	16	160
13	Syin	112	32	16	160
14	Shod	112	32	16	160
15	Dhod	112	32	16	160
16	Tho	112	32	16	160
17	Dzho	112	32	16	160
18	Ain	112	32	16	160
19	Ghoin	112	32	16	160
20	Fa	112	32	16	160
21	Qof	112	32	16	160
22	Kaf	112	32	16	160
23	Lam	112	32	16	160

24	Mim	112	32	16	160
25	Nun	112	32	16	160
26	Wawu	112	32	16	160
27	Ha	112	32	16	160
28	Ya	112	32	16	160
Subtotal					4.480

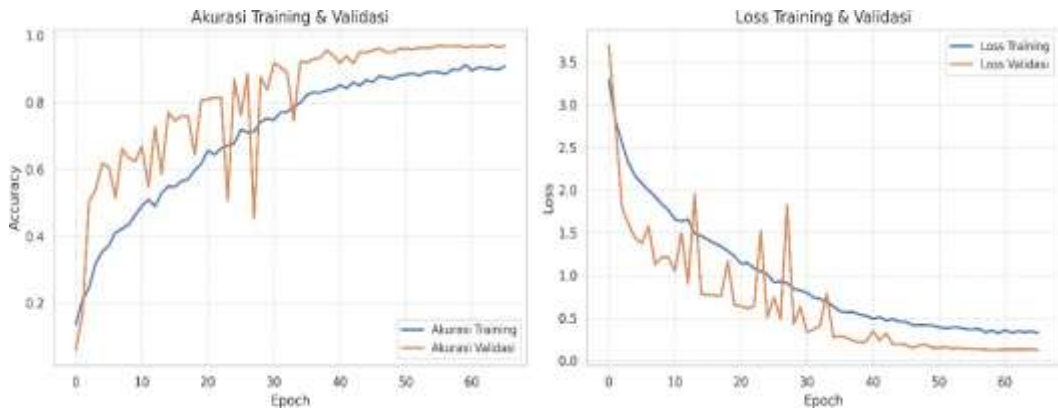
Proses yang dilakukan meliputi :

- a. Labeling
Setiap citra diberi label sesuai dengan huruf hijaiyah yang direpresentasikan, kemudian disusun ke dalam 28 folder kelas. Selanjutnya dataset dibagi menjadi tiga bagian, yaitu data pelatihan sebesar 70%, data validasi sebesar 20% dan data pengujian sebesar 10%. Isi dari data train 112 gambar per huruf, isi data validasi 32 gambar per huruf, dan isi dari data test 16 gambar per huruf. Pembagian tersebut bertujuan agar model tidak sekedar mempelajari data pelatihan, melainkan juga dapat diuji menggunakan data yang belum pernah dikenal sebelumnya, guna menilai kemampuan generalisasi model.
- b. Resizing
Seluruh citra diubah ke ukuran 224 x 224 piksel, sesuai dengan parameter `target_size=(224,224)` pada `ImageDataGenerator`, ukuran ini digunakan agar sesuai dengan input layer CNN (`input_shape=(224,224,3)`).
- c. Normalisasi
Setiap citra dinormalisasi dengan parameter `rescale=1./255`, digunakan untuk menyesuaikan nilai piksel dengan membaginya menggunakan 255 agar berada pada rentang 0-1. Proses ini membantu menstabilkan pelatihan dan mempercepat konvergensi model
- d. Augmentasi
Proses augmentasi diterapkan pada data pelatihan untuk memperluas variasi citra tanpa mengubah bentuk dasar huruf hijaiyah. Proses ini diterapkan dengan memberikan transformasi acak seperti rotasi maksimal ± 10 derajat, pergeseran horizontal maupun vertikal hingga 10%, serta pembesaran dan pengecilan (*zoom in* dan *zoom out*) hingga 10% dari ukuran asli citra. Proses ini menghasilkan citra baru yang lebih bervariasi tanpa menambah data secara manual, sehingga meningkatkan kemampuan generalisasi model dalam mengenali bentuk huruf yang sedikit berbeda dari data latih
- e. Batch Size dan pembagian Dataset
Pelatihan dilakukan menggunakan batch size sebesar 16, agar efisien dalam penggunaan memori GPU. Setelah proses pra-proses selesai, sistem mendeteksi sekitar 3.136 digunakan untuk pelatihan, 896 gambar untuk validasi, dan 448 gambar untuk pengujian.

3.3 Perancangan dan Pelatihan Model

Tahapan pemodelan dilakukan dengan merancang arsitektur jaringan *Convolutional Neural Network* (CNN) menggunakan Pustaka *TensorFlow keras* pada *Google colab*. Model dibangun dengan pendekatan *Sequential API* yang terdapat tiga lapisan konvolusi berurutan yang masing-masing memiliki jumlah filter sebanyak 32, 64, 128 dan 256 masing-masing menggunakan fungsi aktivasi ReLU (Rectified Linear Unit) kemudian dilanjutkan dengan penerapan *MaxPooling2D* untuk mengurangi dimensi spasial pada citra. Setelah tahapan ekstraksi fitur selesai dilakukan, hasilnya diratakan menggunakan Flatten Layer, kemudian dihubungkan dengan *Dense Layer* berjumlah 512 neuron yang menggunakan fungsi aktivasi *ReLU*. Untuk mencegah *overfitting*, ditambahkan Dropout Layer dengan nilai 0.5. Lapisan keluaran (Output Layer) terdiri dari 28 neuron dengan fungsi aktivasi *Softmax*, yang bertugas melakukan klasifikasi ke 28 huruf Hijaiyah.

Model dikompilasi dengan memanfaatkan *Adam Optimizer* serta menggunakan fungsi *loss* berupa *Sparse Categorical Crossentropy* dan metrik *accuracy*. Pelatihan dilakukan maksimal 100 epoch dengan *EarlyStopping* untuk menghentikan proses secara otomatis jika *validation loss* tidak menunjukkan peningkatan signifikan. Selama pelatihan, model menyesuaikan bobotnya secara berulang di setiap *epoch* untuk memperbaiki kesalahan dan meningkatkan akurasi klasifikasi [12]. Model berhenti secara otomatis pada *epoch* ke-66, hal ini menandakan bahwa model telah berhasil mencapai tingkat kinerja yang baik dan tidak mengalami peningkatan akurasi. Dengan demikian penghentian otomatis ini berhasil mencegah *overfitting* dan mempertahankan kestabilan model. Berikut merupakan hasil akurasi dan loss model CNN selama proses pelatihan :

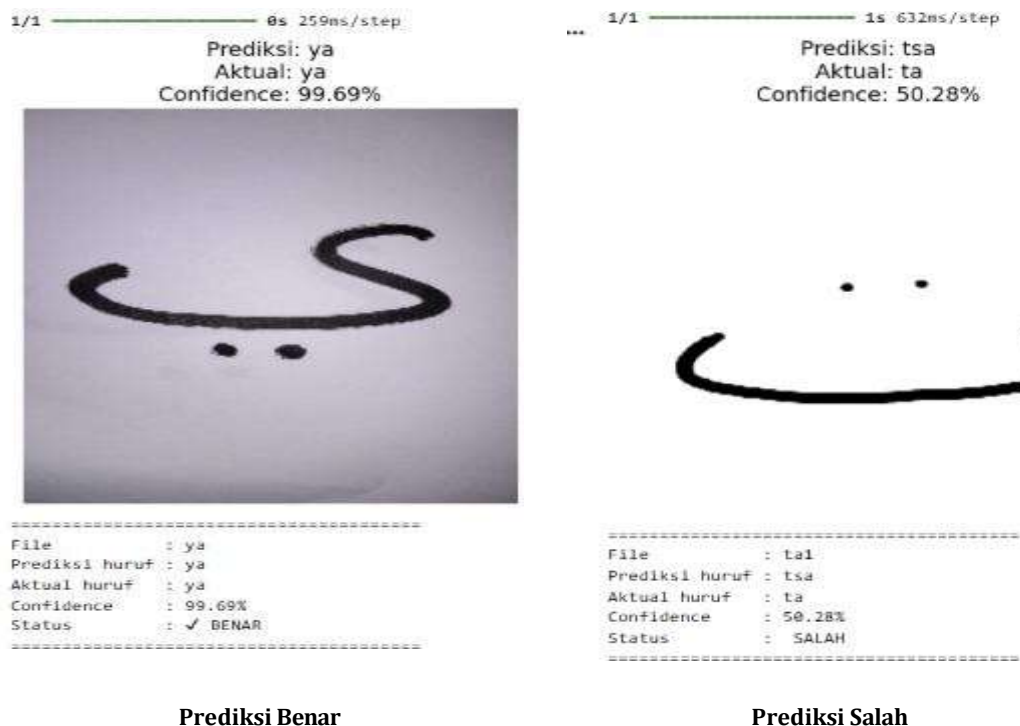


Gambar 3.2 menampilkan grafik akurasi dan loss selama tahap pelatihan serta validasi pada model CNN

Hasil pelatihan ini mencapai akurasi validasi sebesar 97% dengan validation loss 0.10. grafik pelatihan menunjukkan peningkatan akurasi yang stabil dan penurunan loss secara signifikan, menunjukkan bahwa model dapat mengenali dan mempelajari pola visual huruf hijaiyah tanpa mengalami gejala *overfitting* [13][14].

3.4. Pengujian Model

Pengujian dilakukan menggunakan 448 citra pada data uji (data testing) yang belum pernah dilatih sebelumnya, dengan jumlah 16 citra untuk setiap kelas huruf hijaiyah. Tahap ini bertujuan untuk menilai kemampuan model CNN dalam melakukan generalisasi data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Contoh hasil pengujian dapat dilihat pada gambar berikut, yang memperlihatkan perbandingan antara citra yang berhasil diklasifikasikan dengan benar dan citra yang salah diklasifikasikan oleh model :

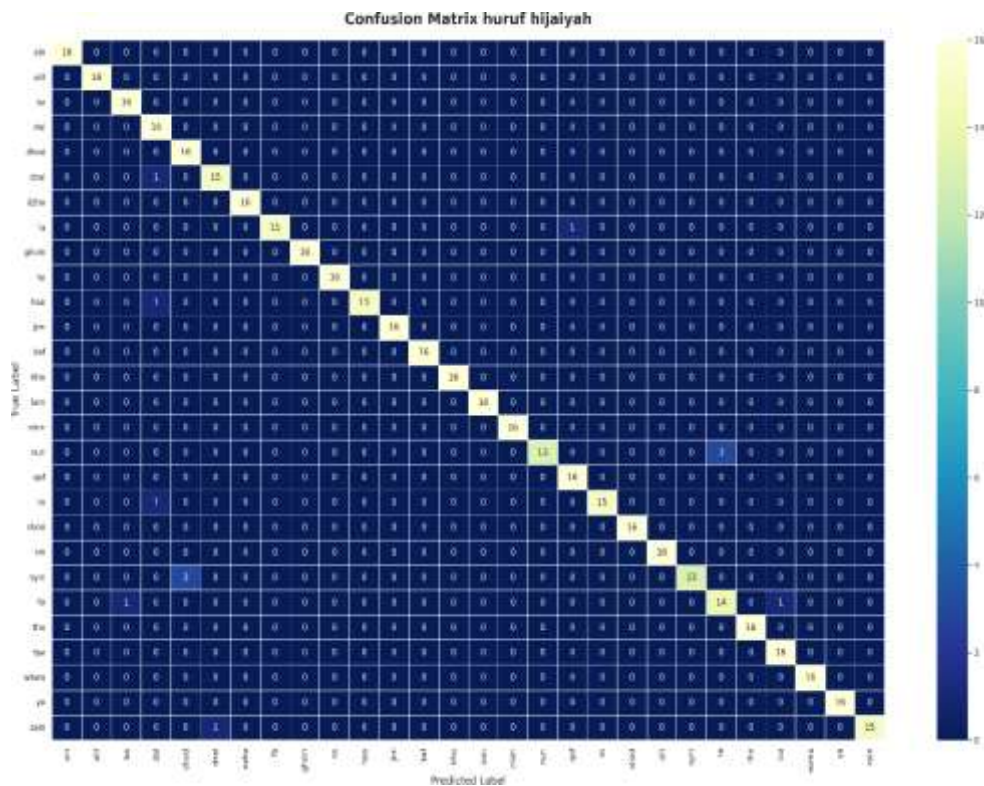


Gambar 3.3 Perbandingan Hasil Pengujian

Pada gambar prediksi benar berhasil mengklasifikasikan huruf *ya* dengan benar dengan tingkat keyakinan 99,69%,sedangkan pada gambar prediksi salah mengalami kesalahan dalam mengenali huruf *ta* yang diklasifikasikan sebagai *tsa* dengan tingkat keyakinan 50,28%. Kesalahan tersebut umumnya terjadi pada huruf-huruf dengan bentuk dasar yang mirip, sehingga membingungkan model dalam proses identifikasi. Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa model sudah melakukan generalisasi dengan baik terhadap data yang belum pernah ditemui sebelumnya.

3.5 Evaluasi model

Setelah tahap pelatihan selesai dilakukan, model dievaluasi menggunakan 448 gambar yang terdapat pada data pengujian. Evaluasi dilakukan dengan memanfaatkan *Confusion Matrix* dan *Classification Report* guna menilai kinerja model secara menyeluruh. Berikut merupakan hasil visualisasi *Confusion Matrix* yang dihasilkan model CNN:



Gambar 3.4 Confusion Matrix

Gambar tersebut memperlihatkan dominasi nilai tinggi pada diagonal utama yang menandakan Sebagian besar huruf hijaiyah berhasil diklasifikasikan dengan benar. Sebagian besar kelas huruf memperoleh prediksi sempurna dengan jumlah benar 16 citra per kelas, yang menunjukkan bahwa model mampu melakukan generalisasi dengan sangat baik pada sebagian besar huruf. Kesalahan kecil hanya terjadi pada huruf yang memiliki bentuk serupa seperti *syin* yang kadang terdeteksi huruf *sin*, serta *Ta* yang keliru dengan huruf *Tsa* atau *Ba*, serta kesalahan tunggal pada *zain*, *ro*, dan *nun*. Jumlah kesalahan ini sangat kecil sehingga tidak berpengaruh signifikan terhadap performa keseluruhan model. Hasil confusion matrix menunjukkan bahwa sistem pengenalan huruf hijaiyah ini telah mencapai tingkat akurasi yang sangat tinggi dan mampu membedakan setiap huruf dengan presisi yang memuaskan. Berikut merupakan gambar *Classification Report* model huruf hijaiyah :

```

=== Classification Report Model Huruf Hijaiyah ===
      precision    recall  f1-score   support

   ain         1.000      1.000      1.000        16
   alif         1.000      1.000      1.000        16
    ba         0.941      1.000      0.970        16
    dal         0.842      1.000      0.914        16
   dhod         0.842      1.000      0.914        16
   dzal         0.938      0.938      0.938        16
   dzho         1.000      1.000      1.000        16
    fa         1.000      0.938      0.968        16
  ghoin         1.000      1.000      1.000        16
    ha         1.000      1.000      1.000        16
   haa         1.000      0.938      0.968        16
    jim         1.000      1.000      1.000        16
    kaf         1.000      1.000      1.000        16
    kho         1.000      1.000      1.000        16
    lam         1.000      1.000      1.000        16
    mim         1.000      1.000      1.000        16
    nun         1.000      0.812      0.897        16
    qof         0.941      1.000      0.970        16
    ro         1.000      0.938      0.968        16
   shod         1.000      1.000      1.000        16
    sin         1.000      1.000      1.000        16
   syin         1.000      0.812      0.897        16
    ta         0.824      0.875      0.848        16
    tho         1.000      1.000      1.000        16
    tsa         0.941      1.000      0.970        16
   wawu         1.000      1.000      1.000        16
    ya         1.000      1.000      1.000        16
   zain         1.000      0.938      0.968        16

 accuracy         0.974         0.971         0.971        448
  macro avg         0.974         0.971         0.971        448
 weighted avg         0.974         0.971         0.971        448

Akurasi total data uji: 97.10%

```

Gambar 3.5 Classification Report

Berdasarkan hasil pengujian, model CNN yang dikembangkan pada penelitian ini berhasil mencapai tingkat akurasi mencapai 97,10% dengan nilai *precision*, *recall*, dan *F1-score* masing-masing sebesar 0,97. Hasil tersebut mengidentifikasi bahwa peningkatan performa yang signifikan jika dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya.

Penelitian oleh Wiratna et al. (2021) menunjukkan bahwa CNN mampu mengenali karakter huruf Hijaiyah berbasis citra digital dengan akurasi 94,94%, sedangkan Abror et al. (2022) mengembangkan sistem *pattern recognition* tulisan tangan huruf Hijaiyah dan memperoleh akurasi sebesar 75%. Selanjutnya, Kasim et al. (2022) mengimplementasikan CNN untuk mengenali pola tulisan tangan pada huruf-huruf arab dan berhasil mencapai akurasi 78,10%, yang menunjukkan peningkatan performa seiring variasi dataset berdasarkan kelompok usia. Sementara itu, Nuraeni et al. (2024) menerapkan algoritma CNN untuk pembacaan tajwid berdasarkan teks Al-Qur'an menghasilkan akurasi sebesar 92,68% untuk data pelatihan dan 95,10% untuk data validasi. Berdasarkan penelitian terdahulu, CNN telah terbukti efektif mengenali huruf Hijaiyah dengan akurasi tinggi, meskipun hasilnya bergantung pada variasi data dan arsitektur jaringan yang digunakan [14].

Jika dibandingkan dengan hasil-hasil tersebut, model CNN pada penelitian ini menunjukkan peningkatan akurasi yang lebih unggul. kondisi ini kemungkinan disebabkan oleh penggunaan dataset yang lebih seimbang dan beragam, penerapan teknik *data augmentation*, serta penyesuaian arsitektur CNN dengan empat lapisan konvolusi dan *dropout layer* yang efektif dalam mengurangi *overfitting* serta meningkatkan kemampuan model dalam melakukan generalisasi terhadap variasi bentuk huruf yang bervariasi.

4. KESIMPULAN

Model *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk klasifikasi huruf Hijaiyah berbasis citra digital menunjukkan performa sangat baik dengan akurasi mencapai 97,10%. Hasil ini membuktikan bahwa CNN

efektif dalam mengenali pola visual huruf Hijaiyah dengan presisi tinggi dan mampu mengatasi variasi bentuk tulisan.

Namun, masih terdapat kesalahan pada huruf yang memiliki kemiripan bentuk seperti *Syin* dan *Sin*. Dengan demikian, penelitian berikutnya disarankan untuk memperluas variasi dataset, menyesuaikan parameter CNN, serta mengembangkan sistem pembelajaran digital interaktif agar hasil klasifikasi menjadi lebih optimal.

REFERENCES

- [1] N. Abror, "Pattern Recognition Tulisan Tangan Huruf Hijaiyah Menggunakan Metode CNN," no. 2, 2021.
- [2] A. F. Febrian, R. N. Mal, and M. H. Arrasyid, "Deteksi Pola Huruf Hijaiyah Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (CNN) Berbasis Aplikasi Mobile," vol. 03, pp. 1–14, 2025.
- [3] R. E. Wiratna, A. Sahputro, B. D. H, and E. Y. Puspaningrum, "PENGENALAN KARAKTER HIJAIYAH MENGGUNAKAN METODE CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK," vol. XVII, pp. 14–18, 2022.
- [4] M. H. Kurniawan, "APLIKASI IDENTIFIKASI KENDARAAN KARYAWAN DENGAN METODE CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK(CNN)," vol. 2, pp. 251–255, 2024.
- [5] N. Kasim and G. S. Nugraha, "Pengenalan Pola Tulisan Tangan Aksara Arab Menggunakan Metode Convolution Neural Network," *J. Teknol. Informasi, Komputer, dan Apl. (JTika)*, vol. 3, no. 1, pp. 85–95, 2021, doi: 10.29303/jtika.v3i1.136.
- [6] F. Nuraeni, A. Asriyanik, and A. Pambudi, "Implementasi Algoritma Convolutional Neural Network (Cnn) Untuk Pengenalan Bacaan Tajwid Berdasarkan Gambar Tulisan Dalam Al-Qur'an," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform., vol. 8, no. 5, pp. 11018–11025, 2024, doi: 10.36040/jati.v8i5.11177.*
- [7] F. I. Muqsith and E. Supriyati, "Klasifikasi Pengucapan Huruf Hijaiyah Berbasis Android Menggunakan CNN dengan Fitur Mel-Spectrogram," *J. Inform.*, vol., no., 2025, [Online]. Available: <http://ejournal.poltekharber.ac.id/index.php/informatika/article/view/8145>
- [8] D. E. Putri, J. Jumadi, and E. Nurlatifah, "Klasifikasi Pengenalan Huruf Hijaiyah pada Bahasa Isyarat Arab Menggunakan Transfer Learning EfficientNetB1," *JUPI J. Ilm. Pendidik. Inform.*, vol., no., 2025, [Online]. Available: <https://jurnal.stkipppgritulungagung.ac.id/index.php/jipi/article/view/6174>
- [9] L. E. Elvitaria, I. P. Sari, and T. I. Buchari, "Klasifikasi Gambar Menggunakan Jaringan Saraf Konvolusional (CNN)," *Rabit J. Teknol. dan Sist. Inf.*, vol., no., 2025, [Online]. Available: <https://jurnal.univrab.ac.id/index.php/rabit/article/view/6207>
- [10] I. N. Husna *et al.*, "Rancang Bangun Sistem Deteksi Dan Perhitungan Jumlah Orang Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (CNN)," pp. 3–8, 2022.
- [11] R. R. Faruk Abdullah and M. Hasan, "Penerapan Convolutional Neural Network (CNN) Untuk Klasifikasi Penggunaan Masker," *J. Ilm. Ilmu Komput. Banthayo Lo Komput.*, vol. 1, no. 2, pp. 79–84, 2022, doi: 10.37195/balok.v1i2.164.
- [12] D. S. Putra and R. A. Maulana, *Pembelajaran Mesin dan Deep Learning: Konsep, Algoritma, dan Implementasi dalam Pengolahan Citra*. Bandung: Informatika, 2023.
- [13] B. Simanjuntak, *Machine Learning: Konsep dan Implementasi*. Jakarta: Universitas Terbuka Press, 2024.
- [14] R. Hidayat and M. Nurkholis, "Implementasi Convolutional Neural Network untuk Pengenalan Huruf Hijaiyah Berbasis Citra Digital," *J. Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 5, no. 2, pp. 112–120, 2021.