

IMPLEMENTASI ALGORITMA *CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK* (CNN) UNTUK PENGENALAN BACAAN TAJWID BERDASARKAN GAMBAR TULISAN DALAM AL-QUR'AN

Fika Nuraeni, Asriyanik, Agung Pambudi

Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Sukabumi

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

fikanuraeni01810@gmail.com

ABSTRAK

Pemahaman dan penerapan tajwid dalam membaca Al-Quran adalah aspek krusial dalam praktik keagamaan Islam. Walaupun tajwid dianggap fardhu kifayah, saat membaca Al-Quran, penerapannya menjadi fardhu 'ain. Namun, banyak orang masih menghadapi kesulitan dalam memahami dan menerapkan aturan tajwid secara tepat. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan algoritma Convolutional Neural Network (CNN) guna meningkatkan akurasi model dalam mengenali bacaan tajwid berdasarkan gambar tulisan dalam Al-Quran. Selain itu, penelitian ini juga berupaya untuk mengidentifikasi dataset yang mencakup lebih dari dua hukum tajwid, sehingga model dapat mengklasifikasikan bacaan tajwid dengan lebih menyeluruh. Model CNN yang dikembangkan memiliki input shape 150x150 piksel dan terdiri dari tiga lapisan konvolusi dengan filter 32, 64, dan 128, yang masing-masing diikuti oleh lapisan maxpooling 2x2. Pada lapisan fully connected, terdapat 512 neuron, dengan output 11 neuron menggunakan fungsi aktivasi softmax. Model ini dilatih menggunakan optimizer Adam dan fungsi loss categorical crossentropy, menghasilkan akurasi 92,68% pada data pelatihan dan 95,10% pada data validasi, menunjukkan kemampuan generalisasi yang baik. Dataset yang digunakan mencakup 219 gambar yang mewakili empat hukum tajwid utama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model ini efektif dalam mengenali dan mengklasifikasikan bacaan tajwid, memberikan kontribusi signifikan pada teknologi pembelajaran tajwid yang lebih interaktif dan efektif.

Kata kunci : Convolutional Neural Network (CNN), Gambar tulisan Al-Quran, Hukum tajwid, Klasifikasi tajwid

1. PENDAHULUAN

Al-Qur'an adalah sebuah kalam Allah *Subhaanahu Wata'aala* yang diturunkan kepada Nabi Muhammad *Shallallahu 'Alaihi wa Sallam* sebagai mukjizat yang diperantarai oleh malaikat Jibril *'Alaihissalam* yang menjadi pedoman dan petunjuk bagi umat Islam. Terdapat dalam mushaf yang diyakini secara *mutawatir*, bahwa membaca Al-Quran bukan hanya sebuah aktivitas, melainkan merupakan bentuk ibadah. Dimulai dengan surah Al-Fatihah dan diakhiri dengan surah An-Nas, yang mengandung nilai-nilai ajaran yang relevan untuk membimbing kehidupan manusia sepanjang masa. Dalam membaca ayat-ayat suci Al-Qur'an, penting untuk menerapkan prinsip-prinsip ilmu tajwid [1].

Ilmu ini berkaitan dengan tempat keluarnya suara dari huruf-huruf hijaiyah yang berjumlah 28, dikenal sebagai makharijul huruf, dan karakteristik khusus dari setiap huruf yang harus diperhatikan. Dengan menerapkan ilmu tajwid, pembacaan Al-Qur'an dapat menjadi tepat dan menyampaikan makna secara sempurna, sebagaimana dicontohkan oleh Rasulullah *Shallallahu 'alaihi wa Sallam*. Kewajiban mempelajari ilmu tajwid hukumnya fardhu kifayah, yang berarti tidak semua pembaca Al-Qur'an wajib mempelajarinya secara langsung dan dapat diwakilkan. Namun, mengamalkan ilmu tajwid saat membaca ayat-ayat Al-Qur'an hukumnya menjadi fardhu 'ain, yang berarti wajib dilakukan oleh setiap individu yang membacanya dan tidak dapat

diwakilkan. *Machine learning* saat ini berkembang begitu pesat yang merupakan salah satu bagian bidang keilmuan dari kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence* yang dimana mampu memecahkan berbagai permasalahan dalam membantu pekerjaan manusia. Fokus *machine learning* ini pada penggunaan data serta algoritma yang dapat menirukan bagaimana manusia belajar dengan bertahap akan menaikkan akurasi. Keberadaan *machine learning* di era kehidupan yang bertransformasi dari teknologi konvensional ke teknologi digital ini dapat mengolah data yang sangat banyak dengan baik. Kategori *machine learning* pun dibagi menjadi beberapa bagian yaitu *supervised machine learning*, *unsupervised machine learning*, *semi supervised learning* dan *reinforcement learning* yang sama-sama berhubungan dengan data namun perbedaannya berdasarkan memiliki label dan tidak memiliki label [2].

Dalam *deep learning*, komputer dapat belajar secara langsung dari data gambar atau suara untuk tujuan klasifikasi. Salah satu algoritma yang digunakan dalam *deep learning* adalah *Convolutional Neural Network* (CNN/ConvNet), yang merupakan pengembangan dari *Multilayer Perceptron* (MPL) dan dirancang khusus untuk memproses data dalam format dua dimensi, seperti gambar atau suara [3].

Salah satu contoh metode dalam pembelajaran mendalam adalah *Convolutional Neural Network* (CNN). Metode ini bekerja dengan baik untuk analisis

gambar dan klasifikasi gambar karena dapat mengekstrak area fitur dari informasi global, dan dapat mempertimbangkan hubungan di antara fitur-fitur ini. Sementara itu, dalam analisis sentimen, CNN memiliki lapisan konvolusional untuk mengekstrak informasi berdasarkan bagian teks yang lebih besar. CNN juga membutuhkan lebih sedikit koneksi dan parameter sehingga lebih mudah untuk dilatih [4].

Terdapat penelitian yang berjudul “Pendeteksi Tajwid Idgham Mutajansain Pada Citra Al-Qur’an Menggunakan *Fuzzy Associative Memory* (FAM)”. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem pendeteksi pola Tajwid Al-Qur’an hukum bacaan Idgham Mutajansain pada citra Al-Qur’an menggunakan metode *Fuzzy Associative Memory* (FAM) memiliki rata-rata detection rate yang berkisar dari 60% hingga 90%. Berdasarkan hasil *persentase detection rate* tersebut menyatakan bahwa metode ini dapat digunakan sebagai salah satu pendekatan pola-pola Tajwid Al-Qur’an dan mampu bekerja dengan baik dan efisien [5].

Adapun penelitian lain yang berjudul “Deteksi Tajwid Nun Mati Pada Ayat Al-Quran Dengan Metode *Convolutional Neural Network* Menggunakan Model Training Ssd Mobilenet”. Pada penelitian ini menggunakan metode CNN untuk mendeteksi hukum tajwid nun mati, dataset yang digunakan sebanyak 350 citra tajwid nun mati pada ayat al-quran dengan gambar tulisan yang menghasilkan nilai akurasi 84% [6].

Untuk menambah akurasi dari penelitian sebelumnya perlu memperluas dataset, menggunakan teknik augmentasi data, dan mengembangkan arsitektur model yang lebih mampu menangkap variasi yang ada. Cara tersebut memungkinkan penambahan dataset menjadi lebih banyak menjadi 11 (sebelas) tajwid dari 4 (empat) hukum tajwid.

Berdasarkan data terkait pemahaman dan penerapan tajwid di kalangan mahasiswa baru Al-Quran menunjukkan bahwa hanya sebagian kecil dari mereka (9.82%) yang mampu membaca Al-Quran dengan lancar dan memahami tajwid (Kategori A), (37.28%) menghadapi kesulitan dalam penerapan tajwid meskipun mereka mampu membaca Al-Quran dengan lancar (Kategori B), (34.42%) mengalami kesulitan dalam membaca Al-Quran secara lancar dan juga tidak memahami tajwid dengan baik (Kategori C). Sementara itu, sejumlah (12.49%) bahkan menghadapi tantangan lebih besar karena tidak hanya tidak lancar dalam membaca Al-Quran tetapi juga tidak memahami tajwid (Kategori D). Selain itu, ada juga mahasiswa baru (5.99%) yang belum mampu membaca huruf hijaiyah dan tidak memahami tajwid sama sekali (Kategori E).

Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa terdapat kebutuhan untuk mengembangkan metode pembelajaran yang dapat membantu meningkatkan pemahaman dan penerapan aturan tajwid di kalangan mahasiswa. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah melalui penggunaan teknologi

pengenalan bacaan tajwid berbasis gambar. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengusulkan penerapan algoritma Convolutional Neural Network (CNN) untuk pengenalan bacaan tajwid berdasarkan gambar tulisan dalam Al-Quran, dengan harapan dapat memberikan solusi yang lebih interaktif dan efektif dalam meningkatkan pemahaman tajwid di kalangan mahasiswa.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Jika Machine Learning (ML) adalah cabang dari kecerdasan buatan (AI) yang berfokus pada kemampuan mesin untuk belajar dan mengambil keputusan secara otomatis, dengan proses utama berupa pelatihan atau training [7].

Dalam penerapannya, metode CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining) sering digunakan sebagai pendekatan terstruktur untuk menyelesaikan masalah bisnis melalui enam tahapan: Business Understanding, Data Understanding, Data Preparation, Modeling, Evaluation, dan Deployment [8].

Salah satu model ML yang populer adalah Convolutional Neural Network (CNN), yang merupakan bagian dari Deep Neural Network dan dirancang khusus untuk mengolah data dua dimensi seperti citra. CNN unggul dalam mengekstraksi fitur-fitur penting dari citra secara otomatis serta mendeteksi objek pada berbagai posisi dengan efisiensi komputasi yang tinggi [9].

Arsitektur CNN terdiri dari beberapa lapisan kunci, termasuk Convolutional Layer, Activation Function, Pooling Layer, Fully Connected Layer, dan Output Layer, yang semuanya bekerja bersama untuk mengolah dan menganalisis data [10].

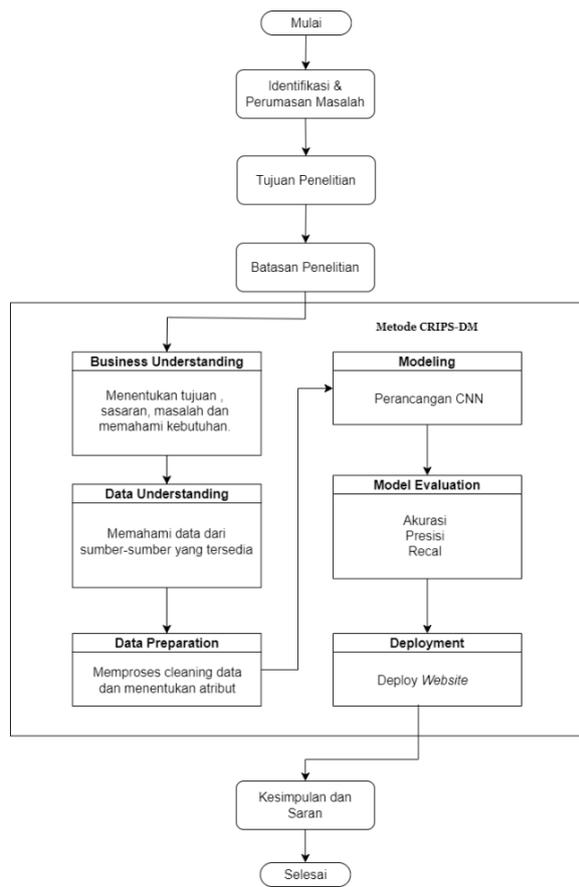
Dalam penelitian ini, Python dipilih sebagai bahasa pemrograman karena keunggulannya dalam keterbacaan kode, efisiensi, fleksibilitas, dan dukungan pustaka yang luas [11].

Proses pengembangan model dilakukan menggunakan Google Colaboratory (Google Colab), sebuah platform berbasis cloud yang memudahkan akses ke pustaka-pustaka penting seperti Keras dan TensorFlow, serta mendukung kelancaran pengembangan selama koneksi internet memadai [12].

TensorFlow sendiri, sebagai platform yang dikembangkan oleh Google Brain, menyediakan antarmuka dan infrastruktur fleksibel yang memungkinkan penerapan berbagai algoritma pembelajaran mesin, yang dapat dijalankan pada berbagai perangkat, termasuk CPU dan GPU [12].

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode CRISP-DM (*Cross Industry Standard Proces for Data Mining*) dengan pendekatan bisnis. Metode ini terdiri dari enam tahapan yang saling terkait



Gambar 1. Metode Penelitian CRISP-DM

3.1. Business Understanding

Pada tahapan ini akan menganalisis permasalahan mengenai pemahaman baca tulis Al-Quran di lingkungan mahasiswa baru universitas Muhammadiyah sukabumi. Tidak hanya mengenai bacaannya begitupun dengan bacaan tajwidnya dan mencari alasan atau penyebab dari kesulitan membaca al-quarn dengan tajwidnya. Ini membantu peneliti mengetahui faktor-faktor yang menjadi penyebabnya, seperti susahnya membedakan antara hukum tajwid.

3.2. Data Understanding

Pada tahapan ini dilakukan pemilihan data dari beberapa data yang sudah dikumpulkan dan dianalisis. Data yang dibutuhkan berupa gambar beberapa hukum tajwid, data diperoleh menggunakan *snipping tool* pada qur'an nu. Kemudian dilakukan proses pemeriksaan data serta evaluasi kualitas data yang akan digunakan.

3.3. Data Preparation

Pada tahapan ini yaitu tahap mempersiapkan data agar tidak terjadinya *missing value* (hilangnya beberapa data) dengan cara melakukan pembersihan data, menentukan atribut, penghapusan atribut, memfilter dan mengintegrasikan data dari berbagai sumber. Pengelompokan atribut pada tahap pemodelan seperti penambahan fitur *unique*. Adapun melakukan

cropping untuk memaksimalkan gambar, kompresi dimensi dara begitupun dilakukan *preprocessing image* dan *augmentasi* yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja model.

3.4. Modeling

Pada tahapan ini akan melakukan proses membuat model terdapat dua tahapan yaitu *feature learning* dan *classification*. Pada *feature learning* terjadi proses konvolusi dan *pooling* pada setiap konvolusi memiliki filter dan aktivasi Relu. Setelah itu dilakukan *flatten* untuk mengubah feature map hasil *pooling layer* menjadi sebuah vektor, lalu pada proses *classification* dilakukan proses klasifikasi menggunakan *fully connected* dengan jumlah neuron pada lapisan tersembunyi yang telah ditentukan, pada proses ini digunakan aktivasi *softmax* untuk melakukan klasifikasi data kategori atau lebih dari dua label yang berbeda.

3.5. Model Evaluation

Pada tahapan ini yaitu memastikan hasil pemodelan yang akan dilakukan evaluasi bahwa model tersebut akurat serta dapat diimplementasikan dengan baik dan sesuai dengan tujuan atau tidak. Evaluasi ini mencakup metrik seperti akurasi, presisi dan recall. Akurasi adalah perbandingan antara jumlah prediksi yang benar (baik positif maupun negatif) dengan total keseluruhan data. Presisi adalah perbandingan antara jumlah prediksi benar positif dengan seluruh hasil prediksi positif. Recall adalah perbandingan antara jumlah prediksi benar positif dengan seluruh data yang benar positif.

3.6. Deployment

Pada tahapan ini dilakukan proses mengubah project atau pemodelan yang sudah dilakukan ke dalam bentuk *website* dan menggunakan Github Pages untu menjalankannya secara *online*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Memuat Penelitian yang akan dilakukan yaitu klasifikasi gambar dengan menggunakan *Convolutional Neural Network (CNN)* pada gambar tulisan hukum – hukum tajwid akan melatih model mengenali pola-pola visual yang mewakili berbagai macam bacaan tajwid dalam al-qur'an berdasarkan gambar tulisan. Dalam proses yang dilakukan yaitu melatih model agar mendapatkan akurasi yang baik, melatih model dengan CNN dari data *train* dan *validation* menggunakan *tools* tensorflow dan keras dalam perancangan arsitektur CNN di google colab.

4.1. Bussines Understanding

Langkah pertama adalah untuk meningkatkan pemahaman dan penerapan aturan tajwid dalam membaca Al-Quran melalui penggunaan teknologi pengenalan bacaan tajwid berbasis gambar. Dengan demikian, dapat memanfaatkan klasifikasi ini sebagai sarana pendukung dalam memperbaiki kualitas bacaan

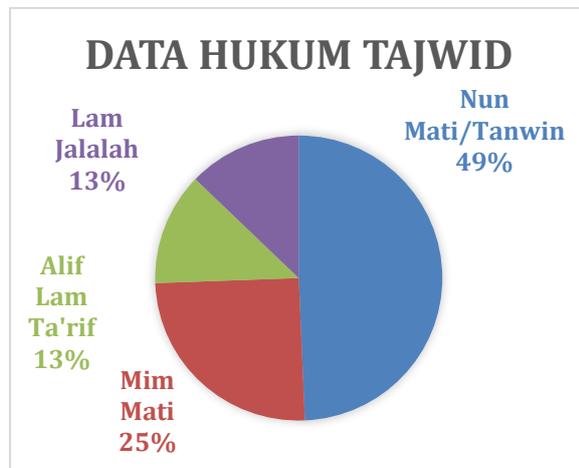
Al-Quran sesuai dengan ketentuan yang benar menurut tajwid. Bertujuan untuk membuat model klasifikasi yang dapat mengidentifikasi dan menganalisis bacaan Al-Quran berdasarkan aturan tajwid yang benar. Cakupannya yaitu implementasi algoritma Convolutional Neural Network (CNN) untuk mengembangkan model yang dapat mengenali dan mengklasifikasikan hukum tajwid dalam gambar tulisan Al-Quran, pengumpulan dan persiapan *dataset* yang mencakup berbagai hukum tajwid untuk melatih dan menguji model, evaluasi dan peningkatan akurasi model.

4.2. Data Understanding

Pengumpulan *dataset* berupa gambar tulisan Al-Qur'an yang mencakup bacaan tajwid yaitu ada hukum nun mati dan tanwin, hukum mim mati, hukum alif lam ta'rif dan lam jalalah. Dikumpulkan dengan cara menguunakan *snipping tool* dari quran.nu



Gambar 2. Dataset gambar tulisan al-qur'an



Gambar 3. Dataset gambar hukum tajwid

Dataset yang sudah dikumpulkan masih kurang baik untuk dilakukan pemodelan CNN dikarenakan ukuran setiap gambar belum sama, penghapusan noise seperti penghalusan (*smoothing*) atau penajaman (*sharpening*) ini sangat perlu karena gambar hasil dari proses *snipping tool* akan dilakukan augmentasi gambar yaitu memperbesar variasi data serta mengatasi ketidakseimbangan kelas.

4.3. Data Preparation

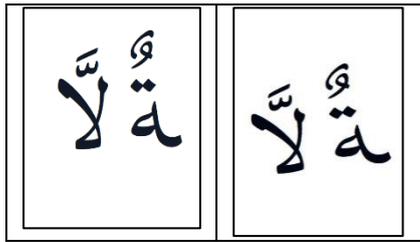
Pada tahap ini dilakukan beberapa langkah untuk mempersiapkan dataset sebelum digunakan untuk melatih model. Ini mencakup pra-pemrosesan data seperti *resizing*, *normalisasi*, dan *augmentasi* gambar untuk meningkatkan keberagaman dataset. Adapun jumlah dataset adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Jumlah data pada setiap kelas

No	Hukum Tajwid	Jumlah Data
1	idghom	36
2	izhar	22
3	ikhfa	40
4	iklab	10
5	idghom syafawi	14
6	izhar syafawi	27
7	ikhfa syafawi	14
8	alif lam qomariyyah	14
9	alif lam syamsiyah	14
10	tafkhim	14
11	tarqiq	14
Jumlah Data		219

Selain itu, dataset juga dibagi menjadi subset pelatihan (*training set*) dan subset validasi (*validation set*) untuk melatih dan menguji model.

- Resizing* yaitu mengubah gambar menjadi ukuran yang seragam secara fisik agar dapat diproses dengan mudah oleh model dan sesuai dengan persyaratan input model.
- Normalisasi gambar yaitu untuk membantu meningkatkan *konvergensi* dan kinerja model. Dalam normalisasi ini nilai piksel dibagi dengan 255 untuk mengubah skala nilai piksel dari rentang [0, 255] menjadi [0, 1]. Ini membantu dalam memastikan bahwa semua nilai piksel berada dalam rentang yang seragam, yang meningkatkan *stabilitas* dan *efisiensi* pelatihan model.
- Augmentasi gambar adalah teknik yang digunakan untuk meningkatkan ukuran dan keragaman *dataset* gambar dengan menerapkan *transformasi* acak pada gambar yang ada. Pemilihan *dataset* yang sudah dilakukan terkumpul sebanyak 219 gambar. Penggunaan augmentasi ini sangat dibutuhkan untuk meningkatkan jumlah *dataset*, karena dapat meningkatkan kinerja model dan mencegah *overfitting* serta *underfitting*. Sementara itu, augmentasi dilakukan dengan menggunakan *library* Keras, yaitu ``ImageDataGenerator``, yang berfungsi menambah jumlah data dengan cara memodifikasi data sehingga model mengenali data tersebut sebagai data yang berbeda. Adapun parameter augmentasi seperti derajat rotasi acak, pergeseran gambar secara *horizontal* dan *vertical*, intensitas *sharing* dan *zooming* acak serta menambahkan setiap gambar 20 gambar. Adapun hasil augmentasi gambar dari 219 gambar menjadi 4260 gambar setiap gambar dilakukan augmentasi sebanyak 20 gambar.



Gambar 4. Gambar setelah augmentasi

4.4. Modeling

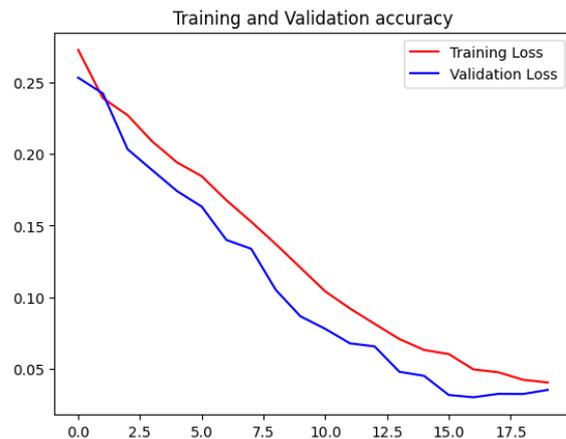
Tahap ini merupakan perancangan model *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk klasifikasi. Tahapan modeling CNN untuk menganalisis dan membuat model terbaik disini mengimplementasikan Python menggunakan Tensorflow dan Keras untuk melatih model jaringan konvolusi (CNN) untuk klasifikasi gambar dan menggunakan library Adam untuk *optimizer*. Adam (*Adaptive Moment Estimation*) adalah *optimizer* yang sangat cocok untuk model *Convolutional Neural Network* (CNN) karena dapat penyesuaian *learning rate* secara adaptif untuk setiap parameter, membantu menangani skala pembelajaran yang berbeda dalam layer konvolusi dan dense. Selain itu, penggunaan momentum mempercepat konvergensi dan mengurangi osilasi, sehingga model mencapai hasil lebih cepat dan stabil untuk memastikan model CNN dilatih secara *efektif* dan *efisien*. Adapun tahapan model yang dilakukan sebagai berikut:

Tabel 2. Tahapan Setiap Layer Pada Model CNN

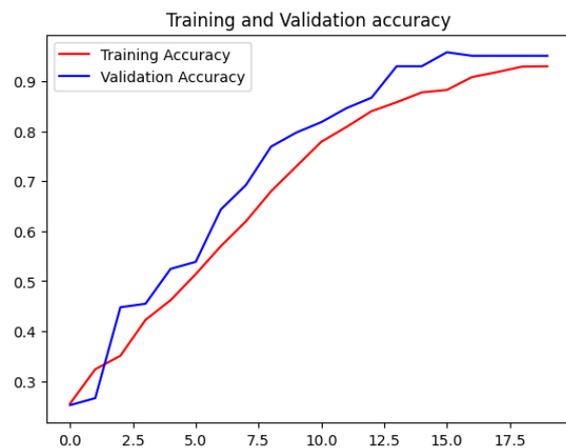
Nama Layer	Deskripsi
Input	Gambar dengan dimensi 150x150 piksel dan 3 saluran warna (RGB).
Conv2D (32, (3,3))	Lapisan konvolusi dengan 32 filter berukuran 3x3 yang mengekstraksi fitur seperti tepi, sudut, dan tekstur dari gambar
MaxPooling2D((2, 2))	Pengambilan nilai maksimum dari setiap patch 2x2 untuk mengurangi dimensi peta fitur.
Conv2D (64, (3, 3))	Lapisan konvolusi kedua dengan 64 filter berukuran 3x3 untuk mengekstraksi fitur yang lebih kompleks.
MaxPooling2D((2, 2))	Pengambilan nilai maksimum dari setiap patch 2x2 untuk mengurangi dimensi peta fitur.
Conv2D (128, (3, 3))	Lapisan konvolusi ketiga dengan 128 filter berukuran 3x3 untuk mengekstraksi fitur yang lebih abstrak dan spesifik.
MaxPooling2D((2, 2))	Pengambilan nilai maksimum dari setiap patch 2x2 untuk mengurangi dimensi peta fitur
Flatten()	Meratakan peta fitur menjadi vektor satu dimensi

Nama Layer	Deskripsi
Dense (512, activation='relu'))	Lapisan <i>fully connected</i> dengan 512 neuron. Setiap neuron dihubungkan ke semua input dari lapisan sebelumnya, memungkinkan model untuk belajar representasi kompleks dari fitur yang diekstraksi.
Dense (11,activation='softmax')	Lapisan <i>output</i> dengan 11 neuron, masing-masing neuron mewakili satu kelas target.

Setelah rancangan model sudah siap untuk dilatih maka pada proses pelatihan model ditentukan jumlah epoch sebanyak 20, step per epoch merupakan hasil dari data train dibagi batch size, dan validation step merupakan hasil dari data validation dibagi batch size dan melakukan uji coba skenario untuk menentukan kombinasi parameter yang terbaik dalam meningkatkan akurasi model CNN dalam melakukan klasifikasi terhadap hukum tajwid. Hasil akurasi yang sudah dilakukan adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Training dan validation loss



Gambar 6. Training dan validation accuracy

Pada gambar di atas hasil akurasi yang didapat pada model pembagian rasio 20% data validasi (*validation*) dan 80% data latih (*training*) dengan *optimizer* Adam. Model menghasilkan *training accuracy* (akurasi pelatihan) 92,68%, *validation*

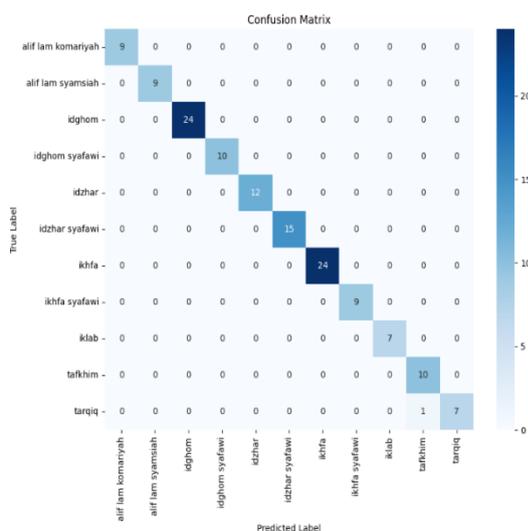
accuracy (akurasi validasi) 95,10%, *training loss* (loss pelatihan) 4,17% dan *validation loss* (loss validasi) sebesar 3,55%. Proses pemodelan mempunyai performa yang baik pada data pelatihan dengan hasil *loss* rendah dan akurasi tinggi, bahwa model menunjukkan telah belajar untuk mengenali pola dalam data pelatihan dengan cukup baik. Namun model bisa mengalami sedikit *overfitting* dan kurang baik pada data validasi.

4.5. Model Evaluation

Setelah dilakukan pemdoelan selanjutnya dilakukan evaluasi model untuk mengetahui sejauh mana kinerja model belajar. Evaluasi model pada pelatihan ini menggunakan *confusin matrix* adapun yang dievaluasi yaitu *accuracy*, *recall*, *precision* dan *F1-score*.

Untuk memvisualisasikan matriks kebingungan (*confusion matrix*) dari hasil klasifikasi model machine learning dalam bentuk heatmap. Dimulai dengan pembuatan figure berukuran 10x8 inci untuk menampung grafik, kode ini kemudian menggunakan fungsi ``sns.heatmap`` dari pustaka Seaborn untuk menghasilkan heatmap yang menampilkan nilai-nilai matriks kebingungan dengan anotasi angka di setiap sel, menggunakan skala warna biru. Label pada sumbu X dan Y diberikan sesuai dengan daftar kelas (``class_labels``), di mana sumbu X mewakili label yang diprediksi dan sumbu Y mewakili label yang sebenarnya.

Untuk memperjelas interpretasi, label sumbu dan judul "Confusion Matrix" ditambahkan. Akhirnya, grafik tersebut ditampilkan menggunakan ``plt.show()``, memberikan visualisasi yang informatif tentang performa model dalam mengklasifikasikan data, serta membantu dalam mengidentifikasi area di mana model bekerja dengan baik atau mengalami kesalahan.



Gambar 7. Confusion matrix

Confusion matrix ini menunjukkan bahwa model klasifikasi memiliki kinerja yang baik, dengan semua

contoh uji diklasifikasikan dengan benar. Setiap kelas pada matriks memiliki nilai diagonal yang menunjukkan jumlah contoh kalsifikasi dengan benar, tanpa ada kesalahan prediksi antar kelas. Secara detail, kinerja model pada masing-masing kelas bervariasi, namun tetap akurat. Sebagai contoh, untuk kelas "alif lam komariyah" dan "alif lam syamsiah," masing-masing terdapat 9 prediksi benar. Kelas "idghom" memiliki 24 prediksi benar, sementara "idghom syafawi" memiliki 10 prediksi benar. Akurasi ini memperlihatkan yang sangat tinggi, tetapi kemungkinan menunjukkan *overfitting* pada data uji. Secara keseluruhan, model ini sangat efektif dalam klasifikasi.

Classification Report:

	precision	recall	f1-score	support
alif lam komariyah	1.00	1.00	1.00	9
alif lam syamsiah	1.00	1.00	1.00	9
idghom	1.00	1.00	1.00	24
idghom syafawi	1.00	1.00	1.00	10
idzhar	1.00	1.00	1.00	12
idzhar syafawi	1.00	1.00	1.00	15
ikhfa	1.00	1.00	1.00	24
ikhfa syafawi	1.00	1.00	1.00	9
iklab	1.00	1.00	1.00	7
tafkhim	0.91	1.00	0.95	10
tarqiq	1.00	0.88	0.93	8
accuracy			0.99	137
macro avg	0.99	0.99	0.99	137
weighted avg	0.99	0.99	0.99	137

Gambar 8. Hasil evaluasi model

Secara keseluruhan, model menunjukkan bahwa kinerja yang sangat baik dengan *precision*, *recall*, dan *f1-score* yang sangat tinggi di hampir semua kelas. Namun, pada beberapa kelas (seperti tafkhim dan tarqiq), ada penurunan kecil dalam *presisi* atau *recall* yang mungkin harus diperhatikan lebih lanjut. Berikut adalah hasil dari evaluasi model:

1. *Precision*, *Recall* dan *F1-Score*
 - a. Untuk sebagian besar kelas, *precision*, *recall*, dan *f1-score* mencapai nilai 1.00, yang menunjukkan bahwa model sangat akurat dalam mengklasifikasikan data dengan sangat sedikit atau tanpa kesalahan.
 - b. Hanya pada kelas "tafkhim" dan "tarqiq" yang memiliki nilai *f1-score* sedikit lebih rendah, masing-masing sebesar 0.95 dan 0.93. Ini mengindikasikan bahwa ada sedikit penurunan kinerja pada dua kelas ini dibandingkan dengan kelas lainnya.
2. Akurasi Keseluruhan
 - a. Akurasi keseluruhan model adalah 0.99, menunjukkan bahwa 99% prediksi model adalah benar. Ini menunjukkan kinerja yang hampir sempurna.
 - b. Nilai *macro average* dan *weighted average* untuk *precision*, *recall*, dan *f1-score* juga masing-masing berada pada angka 0.99, yang mengindikasikan kinerja yang konsisten di seluruh kelas, baik dari segi rata-rata sederhana (*macro*) maupun rata-rata tertimbang (*weighted*).

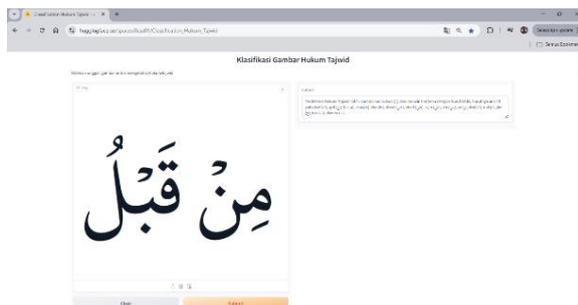
3. Support

- a. Support menunjukkan jumlah sampel di setiap kelas. Kelas dengan support tertinggi adalah "idghom" dan "ikhfa" dengan 24 sampel, sementara kelas lainnya memiliki jumlah sampel yang lebih sedikit, antara 7 hingga 15.

4.6. Deployment

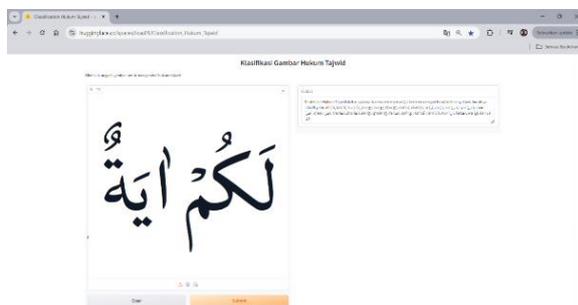
Langkah akhir setelah memperoleh hasil evaluasi terbaik adalah menggunakan web apps Gradio untuk membuat antarmuka sederhana. Antarmuka ini memungkinkan uji coba nyata dengan memasukkan teks baru yang belum pernah dilihat oleh model klasifikasi. Dengan *gr.Interface*, fungsi *predict_image* akan dipanggil ketika gambar diunggah, dan hasil prediksi ditampilkan dalam kotak teks. Antarmuka ini diberi judul "Klasifikasi Gambar" dan dilengkapi dengan deskripsi yang menjelaskan fungsinya. Metode *interface.launch()* menjalankan aplikasi secara lokal, membuka antarmuka di browser untuk interaksi pengguna. Berikut hasil deployment dan tampilan sebagai implementasi.

Percobaan satu yaitu mengidentifikasih potongan ayat al-qur'an hukum tajwid nun mati atau tanwin kelas ikhfa:



Gambar 9. Tampilan hasil hukum nun mati

Percobaan dua yaitu mengidentifikasih potongan ayat al-qur'an hukum tajwid mim mati kelas idzhar syafawi:



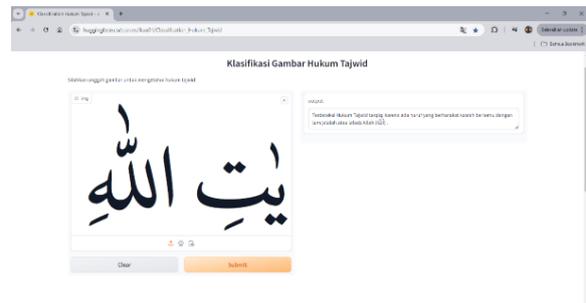
Gambar 10. Tampilan hasil hukum mim mati

Percobaan tiga yaitu mengidentifikasih potongan ayat al-qur'an hukum tajwid 'alif lam ta'rif' kelas alif lam qomariyah:



Gambar 11. Tampilan hasil hukum alif lam ta'rif

Percobaan empat yaitu mengidentifikasih potongan ayat al-qur'an hukum tajwid lam jalalah kelas tarqiq:



Gambar 12. Tampilan hasil hukum lam jalalah

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, model Convolutional Neural Network (CNN) yang dibangun dengan input shape 150x150 piksel telah terbukti efektif dalam mengklasifikasikan gambar berdasarkan hukum tajwid dalam Al-Qur'an. Model ini terdiri dari tiga lapisan konvolusi dengan 32, 64, dan 128 filter, masing-masing dengan ukuran kernel 3x3, yang diikuti oleh lapisan pooling berukuran maxpooling 2x2. Pada lapisan fully connected, terdapat 512 neuron pada lapisan dense, dengan output terdiri dari 11 neuron menggunakan fungsi aktivasi softmax. Model dilatih menggunakan optimizer Adam dengan pengaturan default, fungsi loss categorical crossentropy, dan metrik akurasi. Menggunakan dataset yang mencakup 219 gambar asli dan diperluas menjadi 4.260 gambar melalui augmentasi, yang terdiri dari 11 kelas tajwid, model ini menunjukkan akurasi yang tinggi, yaitu 92,68% pada data pelatihan dan 95,10% pada data validasi, dengan nilai loss masing-masing sebesar 4,17% dan 3,55%. Perbedaan kecil antara akurasi dan loss pada data pelatihan dan validasi menunjukkan bahwa model ini memiliki kemampuan generalisasi yang baik dan stabil dalam mengklasifikasikan gambar tajwid.

Sebagai rekomendasi untuk penelitian lanjutan, disarankan untuk meningkatkan jumlah dan keseimbangan dataset pada setiap kelas agar performa model dapat lebih optimal. Selain itu, pengembangan model dapat diarahkan untuk mendeteksi hukum tajwid yang lebih kompleks, seperti mendeteksi lebih dari satu hukum tajwid dalam satu ayat Al-Qur'an, serta menambahkan fitur suara untuk memberikan

hasil yang lebih interaktif dan komprehensif. Pengembangan ini diharapkan dapat memperkaya aplikasi teknologi dalam pembelajaran tajwid dan meningkatkan pengalaman pengguna dalam mempelajari serta memahami tajwid dalam Al-Qur'an.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ellyadi, "Deteksi Tajwid Nun Mati Pada Ayat Al-Quran Dengan Metode Convolutional Neural Network Menggunakan Model Training Ssd Mobilenet," *Universitas Islam Negeri Ar-Raniry*, 2022, [Online]. Available: [https://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/29791/%0Ahttps://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/29791/2/Deteksi Tajwid Nun Mati Pada Ayat Al-Quran Dengan Metode Convolutional Neural Network Menggunakan Model Training SSD Mobilenet.pdf](https://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/29791/%0Ahttps://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/29791/2/Deteksi%20Tajwid%20Nun%20Mati%20Pada%20Ayat%20Al-Quran%20Dengan%20Metode%20Convolutional%20Neural%20Network%20Menggunakan%20Model%20Training%20SSD%20Mobilenet.pdf)
- [2] A. Roihan, P. A. Sunarya, and A. S. Rafika, "Pemanfaatan Machine Learning dalam Berbagai Bidang: Review paper," *IJCIT (Indonesian J. Comput. Inf. Technol.)*, vol. 5, no. 1, pp. 75–82, 2020, doi: 10.31294/ijcit.v5i1.7951.
- [3] S. Ilahiyah and A. Nilogiri, "Implementasi Deep Learning Pada Identifikasi Jenis Tumbuhan Berdasarkan Citra Daun Menggunakan Convolutional Neural Network," *JUSTINDO (Jurnal Sist. dan Teknol. Inf. Indones.)*, vol. 3, no. 2, pp. 49–56, 2018.
- [4] A. Pambudi and S. Suprpto, "Effect of Sentence Length in Sentiment Analysis Using Support Vector Machine and Convolutional Neural Network Method," *IJCCS (Indonesian J. Comput. Cybern. Syst.)*, vol. 15, no. 1, p. 21, 2021, doi: 10.22146/ijccs.61627.
- [5] M. Maryana, F. Fadlisyah, and S. Retno, "Pendeteksi Tajwid Idgham Mutajanisain Pada Citra Al-Qur'an Menggunakan Fuzzy Associative Memory (FAM)," *TECHSI-Jurnal Tek.*, 2017, [Online]. Available: <https://ojs.unimal.ac.id/techsi/article/view/216>
- [6] P. A. Nugroho, I. Fenriana, and R. Arijanto, "Implementasi Deep Learning Menggunakan Convolutional Neural Network (CNN) Pada Ekspresi Manusia," *Algor*, vol. 2, no. 1, pp. 12–21, 2020.
- [7] A. Ahmad Hania, "Mengenal Artificial Intelligence, Machine Learning, & Deep Learning," *J. Teknol. Indones.*, vol. 1, no. June, pp. 1–6, 2017, [Online]. Available: <https://amt-it.com/mengenal-perbedaan-artificial-intelligence-machine-learning-deep-learning/>
- [8] A. P. Fadillah, "Penerapan Metode CRISP-DM untuk Prediksi Kelulusan Studi Mahasiswa Menempuh Mata Kuliah (Studi Kasus Universitas XYZ)," *J. Tek. Inform. dan Sist. Inf.*, vol. 1, no. 3, pp. 260–270, 2015, doi: 10.28932/jutisi.v1i3.406.
- [9] I. K. Haq and A. Prasetiadi, "Makhraj 'Ain Pronunciation Error Detection Using Mel Frequency Cepstral Coefficient and Modified Vgg-16," *J. Tek. Inform.*, vol. 4, no. 1, pp. 217–224, 2023, doi: 10.52436/1.jutif.2023.4.1.419.
- [10] F. Angga Irawan, M. Sudarma, and D. Care Khrisne, "Rancang Bangun Aplikasi Identifikasi Penyakit Tanaman Pepaya California Berbasis Android Menggunakan Metode Cnn Model Arsitektur SqueezeNet," *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 2, p. 18, 2021, doi: 10.24843/spektrum.2021.v08.i02.p3.
- [11] T. Wahyono, U. Kristen, and S. Wacana, "Fundamental of Python for Machine Learning : Dasar-Dasar Pemrograman Python untuk Machine Learning dan Kecerdasan Buatan," no. September 2018, 2019.
- [12] V. No, J. Hal, and R. G. Guntara, "Pemanfaatan Google Colab Untuk Aplikasi Pendeteksian Masker Wajah Menggunakan Algoritma Deep Learning YOLOv7 Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis," vol. 5, no. 1, pp. 55–60, 2023.