

## Aplikasi Deteksi Otomatis Hukum Tajwid Utama pada Ayat Al-Qur'an menggunakan YOLOv8

Arfiansah<sup>1,\*</sup>, Mohammad Nasucha<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Informatika, Universitas Pembangunan Jaya, Indonesia

<sup>2</sup> Center of Urban Studies, Univesitas Pembangunan Jaya, Indonesia

\* Correspondence: arfiansah.2021@student.upj.ac.id

**Copyright:** © 2025 by the authors

Received: 18 Juni 2025 | Revised: 27 Juni 2025 | Accepted: 28 Juli 2025 | Published: 16 Agustus 2025

### Abstrak

Pembelajaran tajwid menghadapi tantangan dalam mengenali hukum bacaan secara visual dari teks Arab, sehingga dibutuhkan media digital yang interaktif dan akurat. Penelitian ini bertujuan mengembangkan aplikasi web untuk mendeteksi otomatis tujuh hukum tajwid menggunakan YOLOv8. Jenis penelitian ini adalah Research and Development yang mengadopsi model ADDIE, yang terdiri dari lima tahapan sistematis: analisis, desain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Model YOLOv8 dilatih menggunakan 200 gambar ayat Al-Qur'an beranotasi, dengan pembagian data: 70% pelatihan, 20% validasi, dan 10% pengujian. Augmentasi dilakukan melalui rotasi, flipping, dan pengaturan kecerahan, serta pelatihan difasilitasi oleh Roboflow. Hasil temuan kami berupa aplikasi web interaktif yang mampu mendeteksi tujuh hukum bacaan tajwid secara otomatis dari citra mushaf Al-Qur'an. Aplikasi ini memungkinkan pengguna mengunggah gambar ayat, yang kemudian dianalisis dan ditampilkan dalam bentuk bounding box berwarna dan caption interaktif. Hasil pengujian menunjukkan kinerja deteksi yang akurat dan responsif, dengan mAP@50 sebesar 89,88% serta akurasi tinggi pada beberapa kelas hukum bacaan. Temuan ini menunjukkan bahwa pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) berpotensi mendukung pembelajaran tajwid yang lebih interaktif, mandiri, dan adaptif, serta mendorong digitalisasi manuskrip keislaman.

**Kata kunci:** aplikasi web interaktif; deteksi objek; pembelajaran tajwid digital; teks al-qur'an; yolov8

### Abstract

*Tajwid learning faces challenges in visually recognizing recitation rules from Arabic script, thus requiring an interactive and accurate digital medium. This study aims to develop a web-based application to automatically detect seven core tajwid rules using YOLOv8. This research follows a Research and Development approach adopting the ADDIE model, which consists of five systematic stages: analysis, design, development, implementation, and evaluation. The YOLOv8 model was trained using 200 annotated images of Qur'anic verses, with a data split of 70% for training, 20% for validation, and 10% for testing. Data augmentation was applied through rotation, flipping, and brightness adjustment, with training facilitated using Roboflow. Our main finding is an interactive web application capable of automatically detecting seven tajwid rules from Qur'anic verse images. The application allows users to upload images, which are then analyzed and displayed with colored bounding boxes and interactive captions. Testing results showed accurate and responsive detection performance, achieving a mAP@50 of 89.88% with high accuracy across several tajwid classes. These findings highlight the potential of Artificial Intelligence (AI) to support more interactive, independent, and adaptive tajwid learning, while also promoting the digitization of Islamic manuscripts.*

**Keywords:** interactive web application; object detection; digital tajwid learning; qur'anic text; yolov8



## PENDAHULUAN

Ilmu tajwid berasal dari kata bahasa Arab *jawwada* yang berarti "membaguskan" atau "memperbaiki". Secara terminologis, tajwid merupakan ilmu yang mempelajari cara membaca Al-Qur'an dengan benar dan tepat berdasarkan kaidah-kaidah fonetik bahasa Arab, seperti *makhraj* (tempat keluarnya huruf), sifat huruf, serta hukum bacaan yang dipengaruhi oleh susunan huruf-huruf tertentu (Oktarina, 2020). Penguasaan tajwid menjadi esensial karena kesalahan dalam pelafalan dapat berimplikasi pada perubahan makna ayat. Meskipun demikian, dalam praktiknya, pembelajaran tajwid secara tradisional masih menghadapi tantangan yang signifikan, terutama di kalangan generasi muda.

Penelitian oleh Tanjung & Ariza (2025) menemukan bahwa 48% responden usia 13–21 tahun merasa pembelajaran tajwid konvensional kurang menarik dan sulit dipahami tanpa media visual yang interaktif. Selain itu, studi di beberapa TPQ juga menunjukkan bahwa banyak santri mengalami kesulitan dalam mengidentifikasi hukum bacaan tajwid secara mandiri, terutama karena minimnya media pembelajaran yang kontekstual dan keterbatasan pendampingan guru. Masalah ini diperparah oleh dinamika era digital, di mana preferensi generasi muda cenderung bergeser ke media visual dan digital yang cepat serta mudah diakses. Kurangnya integrasi teknologi dalam pendidikan tajwid tidak hanya menghambat pemahaman materi, tetapi juga berpotensi memperlebar kesenjangan minat belajar terhadap ilmu ini.

Menanggapi tantangan citra mushaf Al-Qur'an yang kompleks secara visual, berbagai pendekatan teknologi telah dikembangkan. Salah satunya adalah *Convolutional Neural Network* (CNN) yang digunakan untuk klasifikasi sifat huruf hijaiyah pada citra Al-Qur'an dengan akurasi sangat tinggi (Salamah et al., 2025), serta pendekatan *object detection* menggunakan SSD MobileNet v2 untuk mengidentifikasi hukum tajwid pada citra Al-Qur'an yang lebih *robust* terhadap variasi tipografi dan kondisi nyata (Kurniawardhani & Fathurrahman, 2024). Namun, kedua pendekatan ini tetap harus diuji lebih lanjut dalam konteks mushaf yang sangat beragam secara visual.

Salah satu pendekatan yang lebih adaptif terhadap data visual kompleks adalah *object detection* berbasis computer vision, seperti algoritma *You Only Look Once* (YOLO). YOLO dikenal karena kemampuannya mendeteksi objek secara real-time dengan efisiensi tinggi (Aini et al., 2021), serta merupakan algoritma yang banyak digunakan karena keseimbangan antara kecepatan dan akurasi (Tripathi et al., 2022). Khususnya, YOLOv8 unggul dalam mengenali elemen kecil dalam teks Arab seperti tanda baca, warna tajwid, dan bentuk huruf naskhi, berkat arsitektur ringan dan anchor-free detection head yang lebih presisi (Diwan et al., 2022; Varghese & Sambath, 2024). Algoritma ini juga terbukti andal dalam berbagai kondisi pencahayaan dan jarak (Kamil & Kosala, 2025).

Namun, pengembangan sistem deteksi berbasis visual tetap menghadapi sejumlah tantangan, seperti ketidakseimbangan jumlah data antar kelas (*class imbalance*), variasi latar belakang mushaf, dan ukuran objek yang sangat kecil. Tantangan-tantangan ini merupakan isu krusial dalam pengembangan sistem deteksi objek secara umum, sebagaimana dijelaskan oleh Oksuz et al. (2021), dan sangat relevan dalam konteks mushaf Al-Qur'an yang memiliki kompleksitas visual tinggi.

Meskipun YOLO telah digunakan dalam berbagai studi sebelumnya, beberapa keterbatasan masih ditemukan. Azizah (2023) menggunakan YOLOv7 untuk mendeteksi 10 hukum bacaan dengan mAP@0.5 sebesar 80%, tetapi belum menyediakan antarmuka web interaktif yang mendukung pembelajaran mandiri. Sementara Kindarya et al. (2024) mengembangkan aplikasi berbasis OCR untuk mendeteksi hukum nun sukun dan tanwin, tetapi pendekatannya sangat bergantung pada kualitas gambar dan segmentasi yang rentan kesalahan (Kasem et al., 2023). Selain itu, belum ada sistem yang menampilkan deteksi hukum tajwid secara langsung di atas citra mushaf dengan penjelasan interaktif. Padahal, media pembelajaran

berbasis AR telah terbukti meningkatkan keterlibatan dan pemahaman tajwid (Assuyuthi & Ekawati, 2024).

Melalui pendekatan *image-based Quranic annotation*, penelitian ini mengembangkan sistem deteksi hukum tajwid dari citra mushaf dengan memanfaatkan kode warna standar dalam mushaf modern, seperti merah untuk *qalqalah* atau kuning untuk *iqlab* (Taib et al., 2020). Sistem yang dibangun mampu menandai hukum bacaan secara visual menggunakan *bounding box* dan memberikan *caption interaktif* berisi penjelasan singkat. Fitur ini memfasilitasi pengguna dalam mengenali hukum tajwid secara mandiri melalui pengalaman belajar yang visual dan kontekstual.

Adapun tujuh hukum tajwid yang difokuskan dalam penelitian ini meliputi: *ghunnah musyaddadah*, *idgham bighunnah*, *ikhfak nun*, *ikhfak mim*, *iqlab*, *mad* (4–6 harakat), dan *qolqolah*. Pemilihan ini didasarkan pada frekuensi kemunculannya dalam mushaf serta kesesuaiannya dengan kurikulum tajwid dasar. Fokus pada tujuh kelas ini memungkinkan deteksi yang lebih optimal sekaligus menjaga kemudahan penggunaan bagi pengguna awam.

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan aplikasi web interaktif berbasis YOLOv8 yang mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan tujuh hukum bacaan tajwid secara otomatis dari citra mushaf Al-Qur'an. Sistem ini diharapkan dapat memperluas akses terhadap media pembelajaran tajwid yang visual, adaptif, dan kontekstual, serta berkontribusi pada pengembangan teknologi pembelajaran Al-Qur'an dan digitalisasi manuskrip keislaman.

## METODE

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan yang mengikuti model ADDIE, yang terdiri atas lima tahapan: analisis, desain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi (Adeoye et al., 2024). Model ini dipilih karena memberikan alur kerja sistematis dalam membangun aplikasi berbasis kebutuhan pengguna.

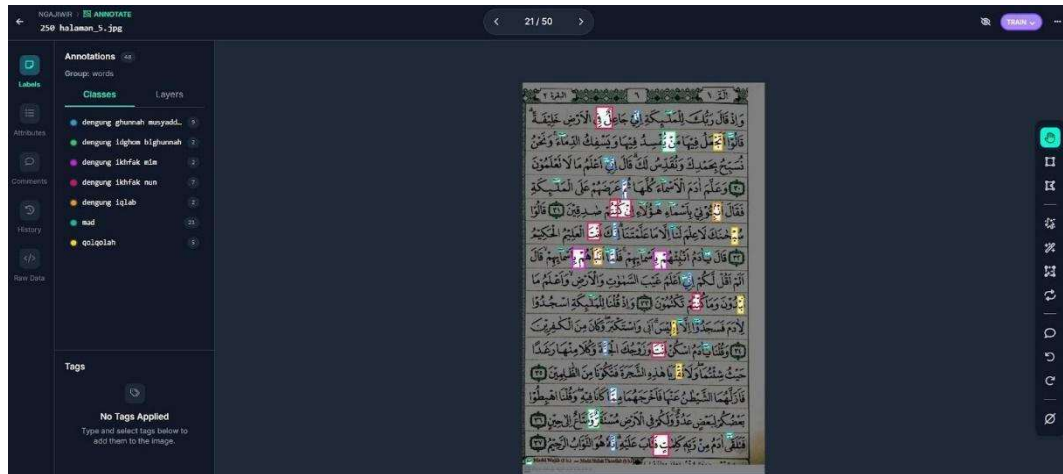
Pada tahap analisis, dilakukan studi literatur dan observasi yang menunjukkan bahwa pembelajaran tajwid konvensional dinilai kurang menarik dan sulit dipahami oleh sebagian pelajar usia sekolah, terutama karena kurangnya media visual yang interaktif. Hal ini menjadi dasar perancangan sistem deteksi otomatis berbasis *computer vision* untuk mendukung pembelajaran hukum bacaan tajwid secara mandiri.



**Gambar 1.** Alur pengembangan aplikasi

Gambar 1 merupakan alur pengembangan aplikasi berdasarkan tahapan ADDIE. Pada tahap desain, ditentukan tujuh hukum tajwid utama yang memiliki ciri visual khas dan sering muncul dalam mushaf, yaitu *idgham bighunnah*, *ikhfak nun*, *ikhfak mim*, *iqlab*, *ghunnah musyaddadah*, *qolqolah*, dan *mad panjang*. Sistem dirancang agar mampu mengenali hukum-hukum tersebut dari citra mushaf Al-Qur'an dan menampilkannya secara interaktif melalui *bounding box* dan *caption*.

Tahap pengembangan dimulai dengan pengumpulan data berupa 250 halaman mushaf Cordoba yang difoto menggunakan kamera smartphone 12 MP dengan pencahayaan optimal. Citra yang diperoleh kemudian diolah melalui proses *auto-orientasi* dan diubah resolusinya menjadi 640×640 piksel agar seragam dan sesuai dengan masukan model deteksi. Seluruh gambar dikonversi ke skala abu-abu (*grayscale*) untuk memperjelas elemen visual seperti huruf, tasydid, dan tanda tajwid. Proses pelabelan dilakukan secara manual menggunakan Roboflow, dan disimpan dalam format .txt sesuai standar model yang digunakan.



Gambar 2. Pelabelan di roboflow

Dataset dibagi menjadi tiga bagian: 70% untuk pelatihan, 20% untuk validasi, dan 10% untuk pengujian. Untuk meningkatkan keragaman data, dilakukan augmentasi berupa rotasi, *flipping* horizontal, dan pengaturan kontras. Validasi hasil anotasi dilakukan bersama tim ahli tajwid untuk memastikan ketepatan antara label dan struktur fonetik. Model dilatih menggunakan arsitektur YOLOv8 selama maksimum 100 *epoch*, dengan *batch size* 16 dan strategi *early stopping* menggunakan *patience* 20 untuk mencegah *overfitting* (Hussein & Shareef, 2024). Proses pelatihan dijalankan dengan GPU berbasis CUDA, dan model terbaik disimpan dalam *file best.pt*.

Aplikasi yang dibangun menggunakan *micro-framework Flask* sebagai *backend*. Aplikasi memungkinkan pengguna mengunggah gambar mushaf, kemudian model melakukan proses deteksi terhadap hukum tajwid yang muncul. Hasil deteksi divisualisasikan melalui *bounding box* berwarna, disertai *caption* interaktif yang muncul saat cursor diarahkan ke area yang terdeteksi. Tampilan ini dirancang untuk mendukung pembelajaran tajwid secara visual dan intuitif.

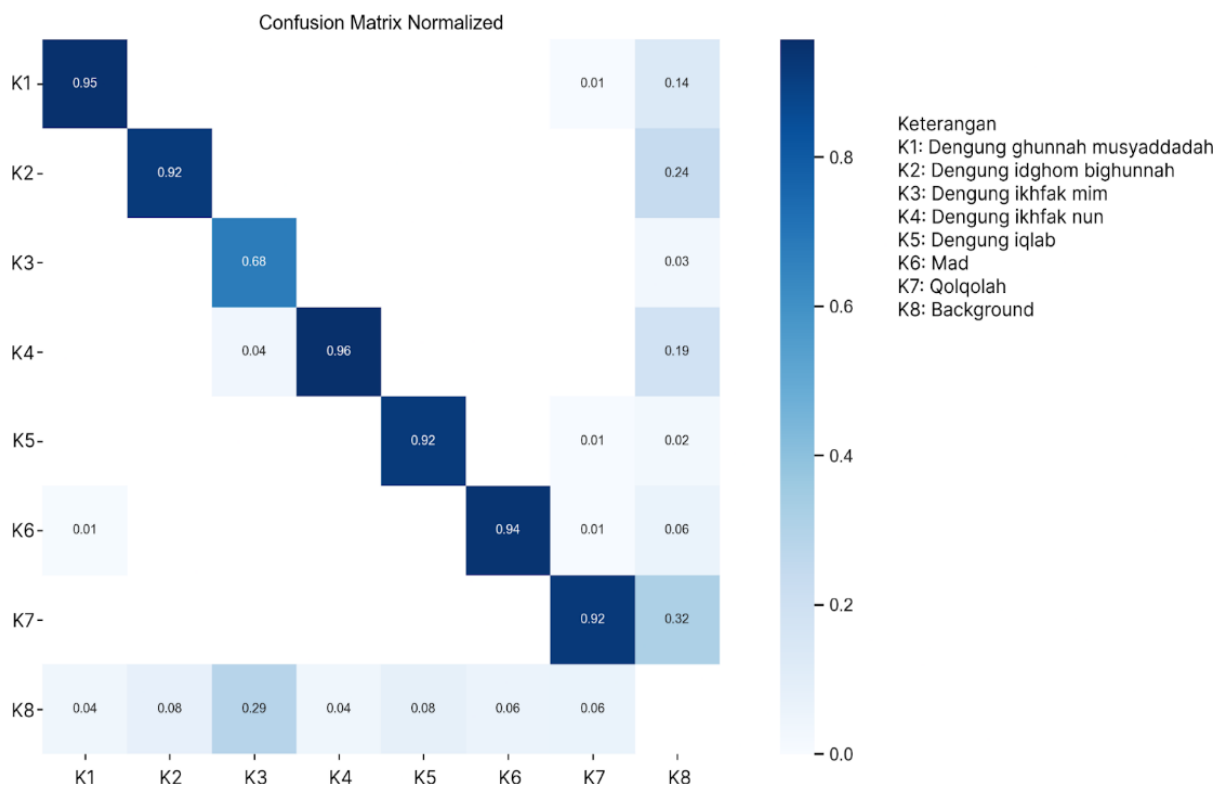
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

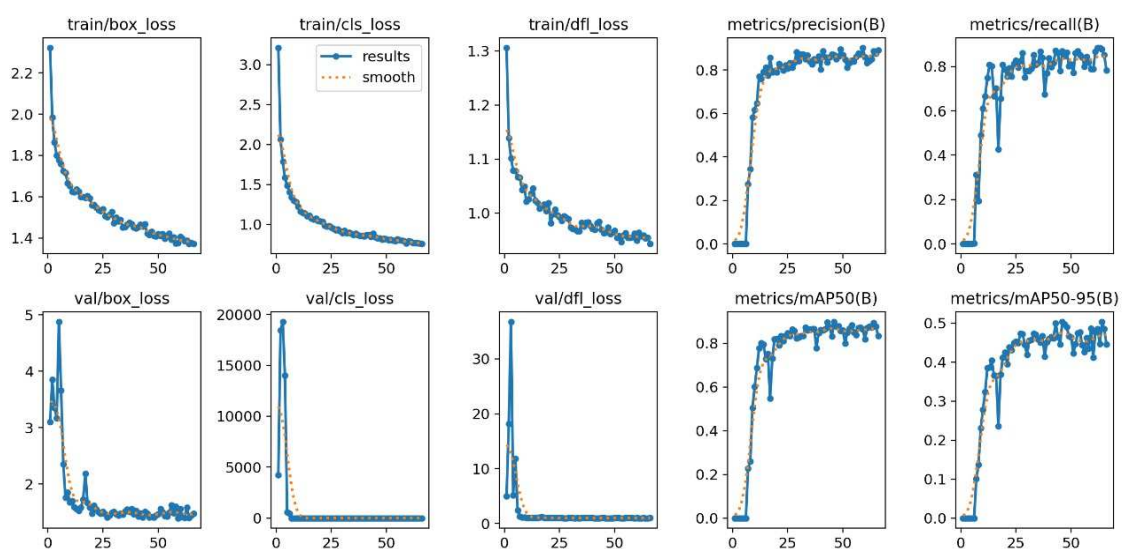
Model dilatih menggunakan YOLOv8s dengan bobot awal (*pretrained weights*) selama maksimum 100 *epoch*, *batch size* 16, dan algoritma optimasi Adam. Ukuran input disesuaikan ke 640×640 piksel, dan pelatihan dilakukan menggunakan perangkat GPU berbasis CUDA untuk mempercepat proses. Strategi *early stopping* dengan *patience* selama 20 *epoch* diterapkan untuk mencegah *overfitting*, dan pelatihan dihentikan secara otomatis pada *epoch* ke-66 karena tidak ada peningkatan signifikan pada performa validasi setelahnya. Bobot model terbaik disimpan dalam *file best.pt*, berdasarkan performa validasi tertinggi yang dicapai. Hasil awal pelatihan menunjukkan bahwa model mampu mengenali dan mengklasifikasikan hukum bacaan tajwid dengan akurasi yang baik. Evaluasi metrik selama pelatihan menunjukkan tren stabil dan tidak *overfitting*, dengan performa validasi yang terus meningkat hingga titik optimal. Dengan pencapaian ini, model dinilai cukup andal untuk melanjutkan ke tahap implementasi dalam aplikasi web interaktif.

Tahap implementasi dilakukan dengan mengintegrasikan model ke dalam antarmuka aplikasi berbasis web. Evaluasi awal performa sistem dilakukan menggunakan pengujian pada data *testing* dan *confusion matrix* untuk mengukur akurasi klasifikasi tiap kelas hukum tajwid. Berdasarkan hasil *confusion matrix*, model menunjukkan performa klasifikasi yang sangat baik pada beberapa kelas, seperti “dengung ikhfak nun” (akurasi 96%) dan “ghunnah musyaddadah”

(akurasi 95%). Namun demikian, model mengalami kesulitan dalam mengenali kelas “dengung ikhfak mim” dengan akurasi yang lebih rendah (68%). Hal ini disinyalir akibat ketidakseimbangan jumlah data pada kelas minoritas tersebut. Analisis lebih lanjut terhadap *confusion matrix* mengindikasikan dua kelemahan utama: pertama, *false negative* yang cukup tinggi pada kelas "ikhfak mim", di mana 29% instansi salah diklasifikasikan sebagai “background”, dan kedua, tingginya *false positive* pada kelas "qolqolah" sebesar 32%, yang kemungkinan disebabkan oleh kemiripan visual antara huruf sukun dan bentuk kaligrafi Arab lainnya dalam mushaf.

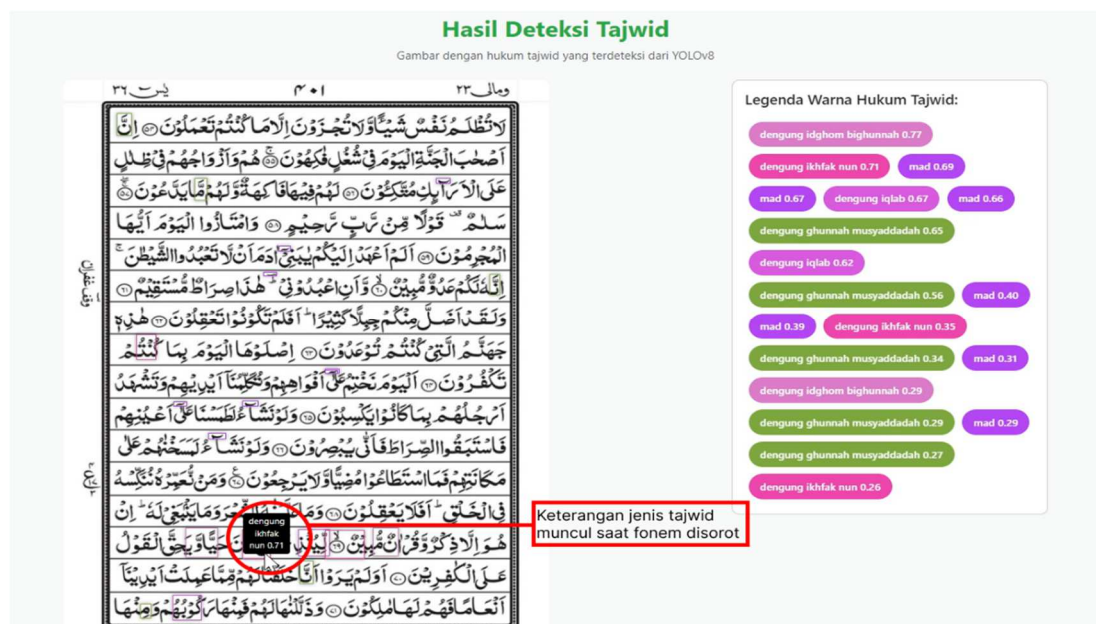


Gambar 3. Hasil pengujian berbasis *confusion matrix*



Gambar 4. Perkembangan *train-val loss*, *precision*, *recall*, dan *map* selama pelatihan yolov8

Pada tahap evaluasi, performa model dianalisis secara mendalam melalui visualisasi metrik pelatihan. Gambar 4 menunjukkan tren perkembangan metrik utama, termasuk *loss*, *precision*, *recall*, dan *mean Average Precision* (mAP). Ketiga jenis *loss* (*box loss*, *classification loss*, dan *distribution focal loss*) pada data pelatihan dan validasi secara konsisten menurun dan menunjukkan kurva yang stabil, yang mengindikasikan proses pelatihan berlangsung efektif dan tanpa gejala *overfitting*. Model mencapai mAP@50 sebesar 89,88% dan mAP@50–95 sebesar 50,30%. Nilai ini mencerminkan kemampuan model untuk menjaga keseimbangan antara presisi dan sensitivitas dalam berbagai ambang *Intersection over Union* (IoU). *Precision* dan *recall* juga menunjukkan pola yang tinggi dan stabil sepanjang pelatihan, yang mengonfirmasi kapabilitas model dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan hukum tajwid secara akurat.



Gambar 5. Tampilan aplikasi pada halaman hasil deteksi tajwid

Tabel 1. Hasil pengujian fitur aplikasi

| Fitur Aplikasi               | Skenario Pengujian                                                                                       | Hasil Pengujian                               |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Unggah Gambar                | Mengunggah gambar dengan format valid (JPG, PNG) dan berbagai resolusi.                                  | Gambar berhasil diunggah tanpa kendala.       |
| Deteksi Hukum Tajwid         | Mengunggah gambar halaman mushaf yang mengandung ketujuh hukum tajwid (Ghunnah, Idgham Bighunnah, dll.). | Semua hukum tajwid berhasil terdeteksi.       |
| Tampilan <i>Bounding Box</i> | Memeriksa apakah setiap hukum tajwid ditandai dengan warna yang sesuai dengan legenda.                   | Warna sesuai legenda dan konsisten.           |
| Caption Interaktif           | Mengarahkan kursor ( <i>hover</i> ) ke setiap <i>bounding box</i> yang terdeteksi.                       | Label hukum tajwid muncul saat <i>hover</i> . |

Hasil pengujian fitur pada tahap implementasi menunjukkan bahwa aplikasi web interaktif yang dikembangkan berhasil mengintegrasikan model deteksi tajwid ke dalam antarmuka pengguna secara fungsional. Sebagaimana dirangkum pada Tabel 1, seluruh fitur utama seperti unggah gambar, visualisasi hukum tajwid melalui bounding box berwarna, dan caption interaktif berjalan sesuai dengan harapan dan mendukung tujuan pembelajaran berbasis visual. Sistem menunjukkan respons yang cukup baik terhadap variasi tata letak dan kualitas gambar dalam beberapa pengujian, meskipun masih terdapat keterbatasan dalam mengenali hukum tajwid tertentu secara konsisten, terutama pada kelas minoritas seperti ikhfak mim.

## Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode pembelajaran tajwid konvensional kurang menarik bagi pelajar karena terbatasnya media visual yang interaktif. Hal ini menegaskan perlunya sistem pembelajaran yang menampilkan hukum bacaan tajwid secara visual untuk meningkatkan pemahaman dan daya tarik. Pendekatan berbasis visual dinilai intuitif karena menyajikan informasi langsung pada teks Al-Qur'an secara mudah dikenali.

Tahap desain dilakukan dengan memilih tujuh hukum tajwid yang memiliki ciri visual khas dan mudah dikenali oleh model deteksi. Penanda seperti tasydid, bentuk huruf, dan warna tajwid menjadi acuan utama dalam membangun kelas-kelas objek yang konsisten secara visual. Pemilihan ini didasarkan pada analisis frekuensi kemunculan hukum bacaan dalam mushaf serta relevansinya dengan kurikulum tajwid dasar. Fokus pada tujuh hukum bacaan ini juga bertujuan untuk menghindari kompleksitas berlebih dalam klasifikasi dan memaksimalkan akurasi model. Dengan demikian, proses pelatihan dapat diarahkan pada fitur-fitur yang paling representatif dan bermakna secara fonetik maupun visual.

Pada tahap pengembangan, dilakukan digitalisasi mushaf Cordoba, konversi citra ke skala abu-abu, dan augmentasi data. Pelabelan dilakukan secara manual guna memastikan ketepatan anotasi pada setiap hukum bacaan. Model YOLOv8s menunjukkan performa yang baik, dengan mAP@50 sebesar 89,88% yang menunjukkan akurasi tinggi dalam mendeteksi posisi hukum tajwid secara tepat, serta mAP@50–95 sebesar 50,30% yang mencerminkan kestabilan model dalam mengenali objek pada berbagai tingkat ketelitian. Penggunaan metrik mAP mencerminkan keseimbangan *precision* dan *recall*, sebagaimana dijelaskan oleh Padilla et al. (2020) bahwa mAP merupakan ukuran komprehensif dalam menilai performa model deteksi objek secara menyeluruh. Penurunan *loss* dan strategi *early stopping* menunjukkan pembelajaran stabil tanpa *overfitting*. Implementasi model dalam aplikasi web divisualisasikan menggunakan *bounding box* berwarna dan *caption* interaktif. Fitur ini mempermudah pengguna memahami hukum bacaan melalui warna dan *tooltip*, mendukung pembelajaran mandiri terutama bagi non-ahli. Antarmuka tidak hanya menampilkan hasil deteksi, tetapi juga memperkuat fungsi edukatif aplikasi.

Evaluasi menunjukkan akurasi tinggi pada kelas dengan ciri dominan, seperti ghunnah musyaddadah dan ikhfak nun, namun menurun pada ikhfak mim akibat distribusi data tidak seimbang. *False positive* tinggi pada qolqolah menunjukkan kesulitan model membedakan huruf sukun dengan elemen visual serupa. Analisis *confusion matrix* membantu memahami pola kesalahan dan mengevaluasi klasifikasi multi-kelas secara lebih detail, sebagaimana diuraikan oleh Sathyanarayanan (2024) yang menekankan pentingnya analisis matriks kebingungan dalam mengidentifikasi kelemahan model klasifikasi visual.

Model dalam studi ini menunjukkan performa lebih unggul dibanding YOLOv7 pada Azizah (2023) yang mencapai mAP@0.5 sebesar 80%, sementara model kami memperoleh mAP@50 sebesar 89,88% dengan fokus tujuh hukum tajwid yang lebih representatif. Sistem ini juga lebih komprehensif dibanding Kindarya et al. (2024) yang hanya mendeteksi dua hukum bacaan berbasis OCR, karena pendekatan kami tidak bergantung pada segmentasi teks dan mampu bekerja langsung pada citra mushaf. Jika dibandingkan dengan Julianda &

Puriyanto (2024) yang menggunakan YOLOv8 untuk simbol baca, aplikasi kami menghadirkan fitur interaktif berupa *bounding box* dan *caption edukatif*. Perbandingan ini menegaskan *novelty* penelitian, yaitu pada akurasi yang lebih tinggi, cakupan hukum yang lebih luas, pendekatan visual murni, serta integrasi ke dalam aplikasi pembelajaran tajwid berbasis web.

Secara keseluruhan, implementasi sistematis dari setiap tahapan dalam model pengembangan ADDIE telah menghasilkan sebuah sistem deteksi hukum tajwid visual yang terstruktur secara komprehensif. Produk akhir menunjukkan tingkat keandalan teknis yang tinggi serta kemampuan adaptif terhadap kebutuhan pembelajaran tajwid yang modern dan berbasis kemandirian belajar

## SIMPULAN

Temuan ini berhasil membangun aplikasi web interaktif untuk mendeteksi tujuh hukum tajwid inti pada citra ayat Al-Qur'an menggunakan model YOLOv8. Model menunjukkan performa klasifikasi yang tinggi dengan mAP@50 sebesar 89,88%, serta akurasi terbaik pada kelas-kelas dengan fitur visual khas seperti ghunnah musyaddadah dan ikhfak nun. Hasil ini terintegrasi secara efektif dalam antarmuka visual interaktif yang menampilkan *caption* tajwid saat kursor diarahkan ke area tertentu, mendukung pembelajaran mandiri secara kontekstual. Penelitian ini memberikan kontribusi pada integrasi teknologi deteksi visual dengan pendekatan pedagogis dalam pendidikan tajwid digital. Ke depan, sistem ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan hukum tajwid lainnya serta fitur audio sebagai pelengkap belajar

## REFERENSI

- Adeoye, N. M. A., Wirawan, N. K. a. S. I., Pradnyani, N. M. S. S., & Septiarini, N. N. I. (2024). Revolutionizing Education: Unleashing the power of the ADDIE model for Effective teaching and learning. *JPI (Jurnal Pendidikan Indonesia)*, 13(1), 202–209. <https://doi.org/10.23887/jpiundiksha.v13i1.68624>
- Aini, Q., Lutfiani, N., Kusumah, H., & Zahran, M. S. (2021). Deteksi dan pengenalan objek dengan model machine learning: Model YOLO. *CESS (Journal of Computer Engineering System and Science)*, 6(2), 192–198. <https://doi.org/10.24114/cess.v6i2.25840>
- Assuyuthi, M. J., & Ekawati, N. E. (2024). Media pembelajaran interaktif pengenalan ilmu tajwid berbasis augmented reality. *Jurnal Ilmu Komputer (JIK)*, 10(1), 69–76.
- Azizah, A. N., & Fatichah, C. (2023). Tajweed-YOLO: Object detection method for Tajweed by applying HSV color model augmentation on Mushaf images. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 7(2), 236–245. <https://doi.org/10.29207/resti.v7i2.4739>
- Diwan, T., Anirudh, G., & Tembhurne, J. V. (2022). Object detection using YOLO: Challenges, architectural successors, datasets and applications. *Multimedia Tools and Applications*, 82(6), 9243–9275. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-13644-y>
- Hussein, B. M., & Shareef, S. M. (2024). An empirical study on the correlation between early stopping patience and epochs in deep learning. *ITM Web of Conferences*, 64, 01003. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20246401003>
- Julianda, R. R., & Puriyanto, R. D. (2024). Tracking ball using YOLOv8 method on wheeled soccer robot with omnidirectional camera. *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, 6(2), 203–213. <https://doi.org/10.12928/biste.v6i2.10816>
- Kamil, M. N., & Kosala, G. (2025). Zebra cross violation detection with YOLOv9: A novel approach for traffic regulation in Indonesia. *Edumatic: Jurnal Pendidikan Informatika*, 9(1), 41–50. <https://doi.org/10.29408/edumatic.v9i1.29244>

- Kasem, M. S., Mahmoud, M., & Kang, H. S. (2023). Advancements and challenges in arabic optical character recognition: A comprehensive survey. *arXiv preprint arXiv:2312.11812*.
- Kindarya, F., Kusumaningtyas, E. M., Barakbah, A., Permatasari, D. I., Al Rasyid, M. U. H., Ramadijanti, N., Fariza, A., Syarif, I., Sa'adah, U., Saputra, F. A., Ahsan, A. S., Sumarsono, I., Yunanto, A. A., Edelani, R., Primajaya, G. A., & Kusuma, S. F. (2024). Penerapan Aplikasi Klasifikasi Hukum Tajwid Menggunakan Image Processing. *El-Mujtama: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(2), 660–669. <https://doi.org/10.47467/elmujtama.v4i2.1930>
- Kurniawardhani, A., & Fathurrahman, I. (2024). Identifikasi Hukum Tajwid pada Citra Teks Al Quran menggunakan SSD MobileNet v2. *Jurnal Informatika Jurnal Pengembangan IT*, 9(3), 234–241. <https://doi.org/10.30591/jpit.v9i3.7713>
- Oksuz, K., Cam, B. C., Kalkan, S., & Akbas, E. (2021). Imbalance problems in object detection: A review. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 43(10), 3388–3415. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2020.2981890>
- Oktarina, M. (2020). Faedah mempelajari dan membaca Al-Qur'an dengan tajwid. *Serambi Tarbawi*, 8(2), 147–162. <https://doi.org/10.32672/tarbawi.v8i2.5072>
- Padilla, R., Netto, S. L., & da Silva, E. A. B. (2020). A survey on performance metrics for object-detection algorithms. In *2020 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, pp. 237–242. Brazil: IEEE. <https://doi.org/10.1109/IWSSIP48289.2020.9145130>
- Salamah, S. R., & Apriandari, W. (2025). Klasifikasi Sifat Huruf Hijaiyah Dengan Metode Convolutional Neural Network (CNN). *Jurnal Ilmiah Informatika Global*, 16(2), 250–256.
- Sathyanarayanan, S. (2024). Confusion matrix-based performance evaluation metrics. *African Journal of Biomedical Research*, 27(4s), 4023–4031. <https://doi.org/10.1109/IWSSIP48289.2020.9145130>
- Taib, J. M., Satari, H., Fadil, S. A. S., & Jamil, H. M. T. (2020). An Evaluation Of An Interactive E-Tajweed System for The Surah of Yaasin. *Journal of Critical Reviews*, 7(8), 994–997.
- Tanjung, A. F., & Ariza, F. N. (2025). Optimalisasi pembelajaran tajwid: Strategi interaktif dan digital untuk meningkatkan kualitas bacaan Al-Qur'an. *Abdurrauf Science and Society*, 1(2), 82–92.
- Tripathi, A., Gupta, M. K., Srivastava, C., Dixit, P., & Pandey, S. K. (2022). Object detection using YOLO: A survey. *International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*, 747–752. India: IEEE. <https://doi.org/10.1109/IC3I56241.2022.10073281>
- Varghese, R., & Sambath, M. (2024). YOLOv8: A novel object detection algorithm with enhanced performance and robustness. *International Conference on Advances in Data Engineering and Intelligent Computing Systems*, 1–6. Chennai, India: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ADICS58448.2024.1053361>