



KLASIFIKASI HUKUM TAJWID OTOMATIS PADA RESITASI AL-QUR'AN MENGGUNAKAN DEEP LEARNING DI PP SYAICHONA CHOLIL PUTRI BALIKPAPAN

Siti Nasim Jf, Nurut Taufik

¹ Sekolah Tinggi Ilmu Tarbiyah Balikpapan, Indonesia

² Sekolah Tinggi Ilmu Tarbiyah Balikpapan, Indonesia

Email: sitinasim74@gmail.com, nrtaufik@gmail.com

Abstract:

In Islamic education traditions, the accuracy of reading the Qur'an in accordance with tajweed rules is a crucial aspect of the quality of students' recitation. However, the limited number of educators and the need for repeated practice pose challenges in the learning process. This study aims to develop an automatic tajweed rule classification system based on deep learning as an evaluation tool for students' recitation at PP Syaichona Cholil Putri Balikpapan. This research uses an applied quantitative-experimental approach with a system development design. Data were obtained through student voice recordings, tajweed rule annotation by expert teachers, signal processing, and feature extraction using mel-spectrogram/MFCC. The CRNN model was tested using cross-validation and field trials, accompanied by questionnaires and interviews to assess its usefulness. The results show that the CRNN model is capable of classifying priority tajweed rules with an accuracy of 92–95% on internal test data. Classroom implementation received positive responses as it effectively detects minor errors quickly and systematically, thereby accelerating correction and monitoring students' progress. This study asserts that artificial intelligence is effective as a learning companion while still positioning the teacher as the main validator. This system contributes to improving the quality of tajweed learning in Islamic boarding schools and enriches deep learning research based on local datasets. In the future, it is necessary to increase dataset coverage, vary recording environments, and integrate web/smartphone platforms to broaden the model's application.

Keywords: *automatic tajweed, Qur'an recitation, deep learning, audio classification, Islamic boarding school.*

Abstrak:

Dalam tradisi pendidikan Islam, ketepatan membaca Al-Qur'an sesuai kaidah tajwid merupakan aspek penting dalam kualitas resitasi santri. Namun, keterbatasan pendidik dan kebutuhan latihan berulang menjadi tantangan dalam pembelajaran. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem klasifikasi hukum tajwid otomatis berbasis deep learning sebagai alat bantu evaluasi bacaan santri di PP Syaichona Cholil Putri Balikpapan. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-eksperimental terapan dengan desain pengembangan sistem. Data diperoleh melalui perekaman suara santri, anotasi hukum tajwid oleh guru ahli, pemrosesan sinyal, dan ekstraksi fitur mel-spectrogram/MFCC. Model CRNN diuji menggunakan validasi silang dan pengujian lapangan, serta disertai kuesioner dan wawancara untuk menilai kebermanfaatannya. Hasil menunjukkan bahwa model CRNN mampu mengklasifikasikan hukum tajwid prioritas dengan akurasi 92–95% pada data uji internal. Implementasi di kelas mendapat respons positif karena efektif mendeteksi kesalahan kecil secara cepat dan sistematis sehingga mempercepat koreksi dan pemantauan perkembangan santri. Penelitian ini menegaskan bahwa kecerdasan buatan efektif sebagai pendamping



pembelajaran yang tetap menempatkan guru sebagai validator utama. Sistem ini berkontribusi dalam meningkatkan kualitas pembelajaran tajwid di pesantren dan memperkaya penelitian deep learning berbasis dataset lokal. Ke depan, perlu peningkatan cakupan dataset, variasi lingkungan rekaman, dan integrasi platform web/smartphone untuk memperluas penerapan model.

Kata kunci: tajwid otomatis, resitasi Al-Qur'an, deep learning, klasifikasi audio, pesantren

PENDAHULUAN

Dalam tradisi Islam, bacaan Al-Qur'an yang benar bukan sekadar ritual, melainkan bagian integral dari pengamalan agama dan pendidikan keagamaan. Ketelitian dalam menerapkan hukum-hukum tajwid seperti ikhfa', idgham, qalqalah, dan mad menjadi tolok ukur mutu resitasi dan bagian penting dari kurikulum di pondok pesantren dan lembaga tahfidz di seluruh dunia, termasuk di Indonesia.¹ Namun, penguasaan tajwid memerlukan bimbingan intensif dari pengajar berkompeten dan latihan berulang, sementara ketersediaan pengajar berkualitas seringkali terbatas terutama pada pesantren yang memiliki banyak santri.²

Perkembangan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) dan pembelajaran mendalam (*deep learning*) membuka peluang untuk mengotomatisasi proses penilaian dan umpan balik terhadap resitasi Al-Qur'an. Sistem otomatis yang mampu mendeteksi kesalahan penerapan hukum tajwid dapat membantu pengajar dalam memantau kemajuan santri, mempercepat koreksi, dan menyediakan sumber belajar yang bisa diakses kapan saja.³ Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa teknik pemrosesan sinyal (seperti MFCC) digabungkan dengan arsitektur pembelajaran mesin dan deep learning mampu mengklasifikasikan unsur-unsur fonetik bacaan Al-Qur'an dan mendeteksi kesalahan pengucapan dengan akurasi yang menjanjikan.^{4 5}

Meski demikian, literatur juga memperlihatkan beberapa tantangan penting. Pertama, banyak studi menggunakan dataset privat yang kecil sehingga hasilnya sulit dibandingkan secara langsung antarpelitian. Kedua, kompleksitas hukum tajwid yang berkaitan dengan konteks huruf, posisi dalam kata/ayat, serta variasi qira'at menuntut

¹ El-Sharawy, E. E. (2025). A Comprehensive Review of AI Applications in Quran Recitation and Tajweed Learning.

² Marfuah, M. (2025). Efektivitas Pembelajaran Ilmu Tajwid terhadap Kemampuan Membaca Al-Qur'an. Jurnal Karakter, ARIPAFI.

³ Al-Fadhli, S., Al-Harbi, H., & Cherif, A. (2023). Speech Recognition Models for Holy Quran Recitation Based on Modern Approaches and Tajweed Rules: A Comprehensive Overview. International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), 14(12).

⁴ Harere, A. A., & Jallad, K. A. (2023). Quran Recitation Recognition using End-to-End Deep Learning.

⁵ Harere, A. A., & Jallad, K. A. (2023). Mispronunciation Detection of Basic Quranic Recitation Rules using Deep Learning.



model yang tidak hanya mengenali fitur akustik lokal tetapi juga mempertimbangkan konteks sekuensial dalam sinyal suara.⁶ Ketiga, adaptasi model ke variasi suara santri putri di lingkungan pesantren tertentu (seperti PP Syaichona Cholil Putri Balikpapan) memerlukan data latih yang representatif untuk menghindari bias dan menurunnya performa pada kondisi nyata.

Riset mutakhir menawarkan solusi teknis yang relevan: ekstraksi fitur MFCC yang dipadukan dengan CRNN atau LSTM menunjukkan kemampuan menangkap dinamika temporal bacaan; pendekatan Siamese/Loss-based juga efektif untuk verifikasi kemiripan resitasi pada tes tahfizh; sementara teknik multimodal (menggabungkan spektral dan fitur temporal) dilaporkan meningkatkan keandalan klasifikasi. Namun implementasi praktik di konteks pesantren yang menuntut kemudahan penggunaan, keterbukaan data, serta integrasi ke dalam proses pembelajaran harian—masih relatif jarang diadopsi dan dilaporkan secara komprehensif di literatur lokal.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengembangkan dan mengevaluasi sistem klasifikasi hukum tajwid otomatis khusus untuk resitasi santri putri di PP Syaichona Cholil. Tujuan utamanya adalah (1) merancang pipeline pemrosesan audio yang robust untuk ekstraksi ciri dan augmentasi data; (2) mengeksplorasi arsitektur deep learning yang optimal untuk klasifikasi beberapa kategori hukum tajwid prioritas; dan (3) menguji performa sistem pada dataset yang dikumpulkan secara lokal dari santri PP Syaichona Cholil Putri, sehingga model dapat mencerminkan karakteristik suara dan variasi resitasi di pesantren tersebut. Pendekatan ini diharapkan tidak hanya memberikan alat bantu evaluasi otomatis yang praktis, tetapi juga kontribusi dataset dan protokol evaluasi yang dapat menjadi acuan bagi studi lanjutan.⁷

Dengan menghubungkan temuan teknis dari studi internasional dengan kebutuhan pendidikan di pesantren lokal, penelitian ini berpotensi memperkaya literatur interdisipliner antara ilmu komputer (pemrosesan suara dan deep learning) dan pendidikan Islam (pembelajaran tajwid). Selain manfaat langsung dalam konteks pengajaran, keluaran penelitian ini juga menyediakan dasar bagi pengembangan aplikasi edukasi berbasis AI yang etis, transparan, dan sensitif terhadap konteks budaya pesantren di Indonesia.

⁶ Al-Agrami, A. M., & Eljazzar, M. M. (2020). *SMARTAJWEED: Automatic Recognition of Arabic Quranic Recitation Rules*. CS & IT – Computer Science and Information Technology, 10, 145-152.

⁷ Rajagede, R. A., & Hastuti, R. P. (2021). Al-Quran recitation verification for memorization test using Siamese LSTM network. *Communications in Science and Technology*, 6(1), 35–40.



METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan desain penelitian kuantitatif-eksperimental terapan dengan pendekatan pengembangan sistem (*development research*) yang dikombinasikan kegiatan peneliti sebagai pengabdian (*abdi dhalem*) untuk memastikan penerapan dan kebermanfaatan praktis di PP Syaichona Cholil Putri; secara garis besar alur penelitian meliputi pengumpulan data suara (rekaman resitasi santri), anotasi hukum tajwid oleh tim ahli, praproses sinyal (normalisasi, pemotongan segmen, augmentasi) lalu ekstraksi fitur dan pelatihan model deep learning, evaluasi kinerja dan uji lapangan untuk umpan balik pengajaran.⁸

Penelitian dilaksanakan selama 2–3 bulan, yaitu sejak Oktober hingga Desember 2025 di lingkungan PP Syaichona Cholil Putri, Balikpapan, dengan izin pihak pesantren dan persetujuan partisipan; keberadaan peneliti bukan hanya sebagai pengamat tetapi berperan aktif sebagai pelaksana pengabdian (*abdi dhalem*) yang memberikan pelatihan, sosialisasi dan pemanfaatan hasil sistem untuk pembelajaran tajwid di pesantren.

Instrumen penelitian mencakup: (1) perangkat perekam audio standar (mikrofon kondensator / headset) dan smartphone untuk rekaman praktis; (2) perangkat lunak perekaman dan anotasi untuk penandaan segment dan label tajwid oleh guru ahli; (3) pipeline pemrosesan sinyal dan ekstraksi (4) lingkungan pengembangan & eksperimen dan (5) instrumen evaluasi kualitas pembelajaran seperti kuesioner dan wawancara terstruktur untuk menilai dampak pengabdian.⁹ Untuk validitas teknis dipakai strategi validasi silang dan pemisahan data latih-validasi-uji yang mempertahankan proporsi tiap kelas hukum tajwid; bila dataset lokal kecil, dilakukan augmentasi audio dan transfer learning dari model pra-latih untuk mengurangi overfitting.¹⁰

Aspek etika dan mutu data diperhatikan dengan memperoleh informed consent, anonimisasi file suara bila diminta, serta keterlibatan mutakhir para pengajar sebagai anotator untuk menjamin kebenaran label tajwid; akhir proses penelitian dilanjutkan dengan kegiatan pengabdian (pelatihan alat, modul penggunaan, dan rekomendasi kurikulum) sehingga model tidak hanya diuji di laboratorium tetapi langsung terintegrasi sebagai alat bantu evaluasi dan pembelajaran di pesantren.¹¹

⁸ Omran, D., & Fawzi, S. (2025). Automatic Detection of Some Tajweed Rules. *Proceedings / IEEE* (diunggah ResearchGate).

⁹ Suryaningrum / Irawan, G. H. (2025). Audio Signal Classification using Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) and Deep Learning.

¹⁰ Fatah, M. P. F. (2025). CRNN Algorithm and MFCC Feature Extraction in Quranic/Arabic Speech Classification.

¹¹ Zunaidi, A. (2024). Metodologi Pengabdian kepada Masyarakat: Teori dan Praktik (repository IAIN / panduan pengabdian).



HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Eksperimen & Evaluasi Model

Setelah pengolahan data dan pelatihan model deep learning, sistem klasifikasi hukum tajwid otomatis menunjukkan performa yang menggembirakan. Menggunakan dataset lokal dari santri putri di lingkungan PP Syaichona Cholil Putri Balikpapan terdiri dari ratusan rekaman resitasi yang telah dianotasi dengan benar oleh guru tajwid dan melalui tahapan praproses, segmentasi, ekstraksi fitur (misalnya mel-spectrogram / MFCC), serta pelatihan model, hasil terbaik diperoleh dari arsitektur berbasis convolution + recurrent neural network (CRNN). Model ini mampu mengenali dan mengklasifikasikan beberapa kategori hukum tajwid (misalnya mad / idzhar / idgham / ikhfa' / ghunnah / qalqalah) dengan akurasi mendekati 92–95% pada data uji internal, bergantung pada konfigurasi dan metode augmentasi data.

Temuan ini sejalan dengan penelitian terbaru dalam domain recitasi Al-Qur'an otomatis. Sebagai contoh, dalam studi *Evaluation of the Pronunciation of Tajweed Rules Based on DNN as a Step Towards Interactive Recitation Learning (2025)*, penulis melaporkan akurasi tinggi pada klasifikasi aturan seperti mad (stretching), ghunnah (noon/ba), dan ikhfa' menggunakan mel-spectrogram + arsitektur EfficientNet-B0 + attention, mencapai hasil yang robust.¹² Demikian pula, dalam tinjauan sistematis terhadap pemodelan akustik Al-Qur'an oleh *Deep Acoustic Modelling for Quranic Recitation*, keefektifan ekstraksi fitur spektral (mel-spectrogram / MFCC) untuk tugas-tugas pengenalan suara dan tajwid ditekankan sebagai metode yang valid dan tahan terhadap variasi akustik dan lingkungan.¹³

Selain itu, dalam penelitian *Speech Recognition Models for Holy Quran Recitation Based on Modern Approaches and Tajweed Rules: A Comprehensive Overview* dikemukakan bahwa kombinasi metode deep learning, preprocessing audio, dan augmentasi adalah kunci untuk menghasilkan sistem ASR / klasifikasi tajwid yang dapat diandalkan.¹⁴ Temuan dalam penelitian ini mendukung rekomendasi tersebut: augmentasi data (pitch shift, time stretch, noise injection) serta segmentasi dan normalisasi sinyal berkontribusi nyata terhadap stabilitas performa, terutama ketika

¹² Shaiakhmetov, D., Gimaltdinova, G., Cankurt, S., & Momunov, K. (2025). Evaluation of the Pronunciation of Tajweed Rules Based on DNN as a Step Towards Interactive Recitation Learning. arXiv preprint.

¹³ Shakeel, M. A., et al. (2024). Deep Acoustic Modelling for Quranic Recitation. *IPSI Transactions on Internet Research*, 20(2), 61–73.

¹⁴ Al-Fadhli, S., Al-Harbi, H., & Cherif, A. (2023). Speech Recognition Models for Holy Quran Recitation Based on Modern Approaches and Tajweed Rules: A Comprehensive Overview. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(12).



model diuji pada rekaman dengan kondisi akustik berbeda (misalnya ruangan bergema, latar belakang suara).

Secara spesifik, analisis confusion matrix menunjukkan bahwa sebagian besar kesalahan terjadi pada kelas yang sering tumpang tindih secara fonetik atau prosodik misalnya antara ikhfa' dan idgham, atau antara ghunnah pendek vs ghunnah panjang / mad. Hal ini menunjukkan bahwa, meskipun fitur spektral dan arsitektur deep learning mampu menangkap banyak karakteristik akustik, klasifikasi hukum tajwid yang sangat bergantung pada durasi, transisi huruf, nasalization, dan konteks bacaan masih menantang terutama bila segmen sangat pendek atau bacaan dilakukan cepat. Hal ini konsisten dengan identifikasi tantangan pada studi review, bahwa variasi pengucapan, qira'at, dan kondisi perekaman dapat menurunkan akurasi jika dataset atau preprocessing tidak memadai.

Uji Lapangan & Validasi Kontekstual di Pesantren

Model yang telah dilatih kemudian diuji di lingkungan nyata pesantren. Sebagai bagian dari kegiatan pengabdian, sistem diterapkan pada rekaman resitasi harian santri, dan hasil klasifikasi otomatis dibandingkan dengan penilaian guru tajwid. Umpan balik yang diperoleh menunjukkan bahwa guru sangat terbantu dengan adanya alat bantu otomatis terutama dalam mendeteksi kesalahan kecil atau sistematis yang sering terlewat pada penilaian manual, serta dalam memantau progres belajar santri dari waktu ke waktu. Banyak guru menyatakan bahwa sistem ini mempercepat proses screening kesalahan tajwid dan memungkinkan fokus bimbingan pada santri yang benar-benar butuh koreksi intensif, alih-alih memeriksa satu-per-satu semua santri tiap hari.

Namun, sejumlah catatan penting muncul dari fase uji lapangan: beberapa guru mengeluhkan bahwa tidak semua hasil klasifikasi otomatis dapat langsung dianggap benar misalnya ketika model menandai suatu segmen sebagai idgham, padahal guru mendengar 'ikhfa'/'idzhar'. Oleh karena itu, mereka menekankan pentingnya integrasi fitur verifikasi manual: misalnya playback audio, tampilan spektrogram, dan tautan ke referensi tajwid agar bisa cross-check secara pedagogis. Temuan ini menguatkan argumen dalam kajian terbaru bahwa sistem otomatis tajwid seharusnya dirancang sebagai pendamping pengajar (human-in-the-loop), bukan sebagai pengganti penuh pendidik.¹⁵ Berdasarkan wawancara dengan pengampu mata pelajaran tajwid di PP Syaichona Cholil Putri Balikpapan, sistem ini sangat membantu dalam pembelajaran. "Saya jadi lebih mudah

¹⁵ Fatah, M. P. F. (2025). CRNN Algorithm and MFCC Feature Extraction in Arabic / Quranic Speech Classification.



menemukan kesalahan kecil pada makhraj atau sifat huruf. Cukup klik bagian yang ditandai salah, langsung terdengar bagian bacaannya.”¹⁶

Banding dengan Literatur & Justifikasi Metodologi

Hasil penelitian ini memberikan kontribusi empiris terhadap literatur pengenalan suara & tajwid, khususnya dalam konteks lingkungan pesantren di Indonesia sesuatu yang selama ini kurang tereksplorasi. Sebagian besar studi internasional memfokuskan pada dataset kecil, bacaan pendek, atau rekaman dari qari profesional; sementara penelitian ini menggunakan data nyata dari santri pesantren, dengan variasi suara perempuan, kecepatan bacaan berbeda, dan latar lingkungan pesantren. Hal ini menjawab kritik yang diidentifikasi dalam ulasan literatur terkini, dan juga dalam kajian etis dan pedagogis, yang menekankan pentingnya dataset representatif, transparansi label, dan integrasi aspek pendidikan dalam sistem otomatis. Pernyataan tersebut sejalan dengan pengalaman santri yang menjadi responden penggunaan sistem ini. Salah satu santri mengungkapkan bahwa “Sebelumnya saya tidak tahu letak kesalahan ikhfa’ saya. Tapi setelah pakai aplikasi ini, langsung muncul hukumnya apa dan bagian mana yang salah, jadi saya lebih percaya diri saat setoran ke ustadzah.”¹⁷

Lebih jauh, keberhasilan model CRNN + mel-spectrogram dalam klasifikasi pada penelitian ini memberi pembenaran terhadap metodologi yang banyak disarankan dalam literatur: bahwa fitur spektral (MFCC / mel-spectrogram), ditambah dengan model sekuensial atau konvolusional + sekuensial, serta augmentasi dan validasi silang, memberikan keseimbangan antara kompleksitas, akurasi, dan generalisasi. Sebagaimana ditunjukkan juga dalam ulasan comprehensive ASR untuk recitasi Al-Qur’an, bahwa teknologi pengenalan suara telah mulai matang dan dapat diadaptasi untuk tajwid otomatis, meskipun tantangan seperti bias dataset dan keanekaragaman suara tetap ada.

Keterbatasan dan Tantangan

Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan. Pertama, cakupan dataset masih terbatas pada santri putri di satu pesantren sehingga model belum tentu dapat digeneralisasi pada lingkungan dan suara yang berbeda. Kedua, variasi lingkungan perekaman seperti adanya gema dan noise tetap memengaruhi performa pendeteksian, khususnya pada hukum tajwid yang halus seperti idgham dan ikhfa’. Ketiga, cakupan kelas tajwid masih sebatas pada hukum utama (mad, idgham/ikhfa’, ghunnah, qalqalah, izhar),

¹⁶ Fatimatuz Zahro, Guru tajwid PP Syaichona Cholil Putri Balikpapan, wawancara pribadi, Balikpapan, 29 November 2025.

¹⁷ Imamah, Santri PP Syaichona Cholil Putri Balikpapan, wawancara pribadi, Balikpapan, 28 November 2025.



sehingga aturan lain belum terakomodasi. Keempat, kebutuhan verifikasi manual oleh guru tetap diperlukan sehingga sistem masih menjadi alat bantu, bukan pengganti pengajar. Terakhir, tantangan pedagogis dan etis juga harus diperhatikan karena penerapan teknologi ini menuntut kesiapan komunitas pesantren dan pentingnya menjaga prinsip syariah serta pemahaman tajwid yang komprehensif sebagaimana dikritisi dalam literatur bahwa model ASR berbasis data cenderung mengabaikan makhraj dan aspek linguistik mendalam.¹⁸

Implikasi dan Rekomendasi

Sistem otomatis pendeteksi tajwid perlu ditempatkan sebagai human-in-the-loop, yakni guru tetap menjadi validator utama hasil deteksi, sesuai dengan rekomendasi literatur agar pengetahuan tradisional, analisis akustik, dan deep learning dipadukan.⁵ Dalam pengembangan selanjutnya, ekspansi dataset lintas pesantren dan variasi perekaman diperlukan guna meningkatkan generalisasi. Protokol standarisasi rekaman dan anotasi juga perlu disusun agar kualitas data konsisten dan dapat dijadikan benchmark bersama. Selain itu, pengembangan platform edukatif berbasis web/smartphone yang menyediakan umpan balik tajwid dan rekaman progres dapat memperkuat manfaat pembelajaran harian santri. Akhirnya, kolaborasi erat antara ahli AI, pendidik Islam, dan ulama penting untuk menjaga kesesuaian sistem dengan prinsip pembelajaran tajwid dan syariah.¹⁹

KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa sistem klasifikasi hukum tajwid otomatis berbasis deep learning dapat menjadi solusi efektif dalam mendukung proses pembelajaran resitasi Al-Qur'an di lingkungan pesantren, khususnya untuk santri putri di PP Syaichona Cholil Putri Balikpapan. Dengan memanfaatkan pipeline pemrosesan audio yang meliputi anotasi ahli, pra-proses, ekstraksi fitur (mel-spectrogram/MFCC), serta arsitektur CRNN, performa model mencapai akurasi tinggi pada klasifikasi hukum-hukum tajwid prioritas. Hal ini menunjukkan bahwa kecerdasan buatan mampu mengenali karakteristik akustik tajwid secara signifikan, sehingga dapat membantu mempercepat umpan balik dan pemantauan perkembangan santri.

¹⁸ Alghamdi, M., Alsolami, E., Alharbi, M., & Aldayel, H. (2023). Automatic Tajweed Error Detection in Quranic Recitation Using Deep Learning: A Review. *Applied Sciences*, 13(21), 11884.

¹⁹ Rahman, S. & Hasan, A. (2022). Artificial Intelligence in Islamic Education: Opportunities and Ethical Considerations. *Journal of Islamic Education Studies*, 10(2), 145–160.



Hasil uji lapangan memperlihatkan bahwa guru tajwid merasakan manfaat nyata dari sistem ini, terutama dalam mendeteksi kesalahan yang bersifat subtil dan berulang, serta meningkatkan efisiensi penilaian harian. Namun, implementasi praktis di pesantren menegaskan pentingnya peran guru sebagai validator utama atau human-in-the-loop, mengingat sistem masih dapat melakukan mis-klasifikasi terutama pada hukum tajwid yang memiliki kedekatan fonetik dan prosodik.

Dengan demikian, teknologi ini berfungsi sebagai pendamping pengajaran, bukan pengganti otoritas pedagogis dan keilmuan guru. Selain memberikan kontribusi pada bidang teknologi, penelitian ini juga memiliki dampak kebermanfaatannya langsung bagi pendidikan Islam melalui pendekatan pengabdian (abdi dhalem). Ke depan, ekspansi dataset, standarisasi protokol anotasi, peningkatan keberagaman suara, serta integrasi ke aplikasi edukasi berbasis web/smartphone menjadi rekomendasi penting untuk pengembangan keberlanjutan sistem. Oleh karena itu, penelitian ini dapat menjadi fondasi bagi inovasi Al-Qur'an berbasis AI yang lebih representatif, etis, dan sensitif terhadap konteks budaya serta nilai-nilai pesantren di Indonesia.



DAFTAR PUSTAKA

- Al-Agrami, A. M., & Eljazzar, M. M. (2020). SMARTAJWEED: Automatic recognition of Arabic Quranic recitation rules. *CS & IT – Computer Science and Information Technology*.
- Al-Fadhli, S., Al-Harbi, H., & Cherif, A. (2023). Speech recognition models for Holy Quran recitation based on modern approaches and tajweed rules: A comprehensive overview. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*.
- Alghamdi, M., Alsolami, E., Alharbi, M., & Aldayel, H. (2023). Automatic tajweed error detection in Quranic recitation using deep learning.
- El-Sharawy, E. E. (2025). A comprehensive review of AI applications in Quran recitation and tajweed learning.
- Fatah, M. P. F. (2025). CRNN algorithm and MFCC feature extraction in Arabic/Quranic speech classification.
- Harere, A. A., & Jallad, K. A. (2023). Mispronunciation detection of basic Quranic recitation rules using deep learning.
- Harere, A. A., & Jallad, K. A. (2023). Quran recitation recognition using end-to-end deep learning.
- Marfuah, M. (2025). Efektivitas pembelajaran ilmu tajwid terhadap kemampuan membaca Al-Qur'an. *Jurnal Karakter*.
- Omran, D., & Fawzi, S. (2025). Automatic detection of some tajweed rules. *Proceedings IEEE*.
- Rahman, S., & Hasan, A. (2022). Artificial intelligence in Islamic education: Opportunities and ethical considerations. *Journal of Islamic Education Studies*.
- Rajagede, R. A., & Hastuti, R. P. (2021). Al-Quran recitation verification for memorization test using Siamese LSTM network. *Communications in Science and Technology*.
- Shakeel, M. A., et al. (2024). Deep acoustic modelling for Quranic recitation. *IPSI Transactions on Internet Research*.
- Shaiakhmetov, D., Gimaletdinova, G., Cankurt, S., & Momunov, K. (2025). Evaluation of the pronunciation of tajweed rules based on DNN as a step towards interactive recitation learning.



Suryaningrum, & Irawan, G. H. (2025). Audio signal classification using mel-frequency cepstral coefficients (MFCC) and deep learning.

Zunaidi, A. (2024). *Metodologi pengabdian kepada masyarakat: Teori dan praktik*. IAIN Repository.