

Pengembangan E-Learning Berbasis PWA pada TPA Masjid Arraudhah dengan Pendekatan Koneksi Terbatas

¹Rafi Samir Suradijaya, ²Yulhendri, ³Budi Tjahjono, ⁴Popong Setiawati
^{1,2,3,4} Universitas Esa Unggul, Bekasi, Indonesia

*Korespondensi : rafiisamir.91@student.esaunggul.ac.id

Submit : 16 April 2026 | Diterima : 04 Mei 2026 | Terbit : 12 Mei 2026

ABSTRACT

The main issue with online learning at the Al-Qur'an Education Center (TPA) of Arraudhah Mosque is internet infrastructure, with an average test result of only 1.2 Mbps. These unstable and unreliable network conditions affect the distribution of digital materials and reduce the effectiveness of self-directed learning. The objective of this study is to develop a Progressive Web Apps (PWA)-based e-learning system optimized for current internet conditions through an offline-first approach. The development method used is prototyping, which includes needs analysis, prototype creation, implementation, evaluation, and system refinement based on user feedback. The system under development features the ability to manage educational materials such as videos and PDFs, task management, and final exams (UAS) with automated grading based on predefined rules. PWA technology is implemented through caching mechanisms using Service Workers and the Web App Manifest to enhance offline access to previously accessed content. Results from Google Lighthouse indicate excellent application quality with a score of 90 for accessibility, 100 for best practices, and 100 for SEO. In addition, this system ensures uninterrupted access to course materials when the connection is lost and automatically synchronizes exam answers once the connection is restored. As such, PWA-based e-learning is an effective and flexible technological solution for supporting digital transformation in non-formal education that is equipped with network infrastructure.

Keywords: *E-learning, Limited Internet Connectivity, Offline-first, Progressive Web App (PWA), TPA Masjid Arraudhah*

ABSTRAK

Masalah utama dalam pembelajaran daring di Taman Pendidikan Al-Qur'an (TPA) Masjid Arraudhah adalah infrastruktur internet, dengan hasil pengujian rata-rata hanya 1,2 Mbps. Kondisi jaringan yang tidak stabil dan tidak dapat diandalkan ini memengaruhi penyebaran materi digital serta mengurangi efektivitas pembelajaran mandiri. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem e-learning berbasis Progressive Web Apps (PWA) yang dioptimalkan untuk kondisi internet saat ini melalui pengembangan offline-first. Metode pengembangan yang digunakan adalah prototyping, yang meliputi analisis kebutuhan, pembuatan prototipe, implementasi, evaluasi, dan perbaikan sistem berdasarkan umpan balik pengguna. Sistem yang sedang dikembangkan memiliki fitur untuk mengelola materi pendidikan seperti video dan PDF, pengelolaan tugas, serta ujian akhir (UAS) dengan penilaian otomatis berdasarkan aturan. Teknologi PWA diimplementasikan melalui mekanisme caching menggunakan Service Worker dan Web App Manifest untuk meningkatkan akses luring (offline) ke konten yang sebelumnya diakses. Hasil penggunaan Google Lighthouse menunjukkan kualitas aplikasi yang sangat baik dengan skor 90 untuk aksesibilitas, 100 untuk praktik terbaik, dan 100 untuk SEO. Selain itu, sistem ini mampu memastikan kelancaran akses materi saat koneksi terputus dan secara otomatis menyinkronkan data jawaban ujian ketika koneksi kembali tersedia. Dengan demikian, e-learning berbasis PWA merupakan solusi teknologi yang efektif dan fleksibel untuk mendukung transformasi digital dalam pendidikan nonformal yang dilengkapi dengan infrastruktur jaringan.

Kata Kunci: *E-learning, Koneksi Internet terbatas, Offline-first, Progressive Web App (PWA), TPA Masjid Arraudhah*

PENDAHULUAN

Transformasi digital di bidang pendidikan telah memunculkan sistem e-learning sebagai solusi pembelajaran yang fleksibel, efisien, serta tidak terikat oleh waktu dan ruang (Amrullah et al., 2021). Pemanfaatan teknologi ini dalam pendidikan formal dan nonformal dapat

meningkatkan fleksibilitas pembelajaran serta akses terhadap berbagai sumber belajar (Sajiatmojo et al., 2021; Haryadi et al., 2021). Menurut penelitian terbaru, kualitas sistem dan informasi merupakan faktor penting yang menentukan kinerja siswa dan kolaborasi pada platform digital (Sayaf, 2023). Secara umum, siswa saat ini memiliki pendapat yang sangat positif tentang penggunaan bahan pembelajaran berbasis e-learning untuk mendukung proses akademik mereka (Ota, 2021).

Penerapan e-learning di negara ini terkadang terhambat oleh infrastruktur teknologi yang kurang memadai, terutama terkait konektivitas internet yang stabil dan biaya data yang tinggi (Adelakun et al., 2022). Masalah teknis dan keterbatasan platform yang sering dihadapi pengguna berdampak negatif terhadap efektivitas pembelajaran digital di lingkungan dengan sumber daya terbatas (Alyoussef, 2021). Menurut Alkhawaja et al. (2022), kualitas sistem yang diterapkan secara sederhana memengaruhi persepsi pengguna terhadap kegunaannya dan kesediaan mereka untuk terus menggunakannya. Banyak siswa memiliki kemampuan untuk belajar secara digital, tetapi mereka sering menghadapi kesulitan karena fasilitas pendukung yang tidak memadai dan kendala teknis di ruang kelas (Putu et al., 2021).

Tujuan Taman Pendidikan Al-Qur'an (TPA) Masjid Arraudhah merupakan salah satu lembaga pendidikan nonformal yang telah beroperasi selama empat tahun dan terus menerapkan metode pengajaran tradisional dengan menggunakan buku pelajaran dan buku-buku lainnya. Berdasarkan hasil pengamatan, TPA ini dikelola oleh satu orang guru aktif untuk tiga puluh siswa, yang terdiri dari dua puluh empat siswa SMP dan enam siswa SMA kelas 10. Tajwid, Fiqih, Aqidah, dan Kaligrafi merupakan mata pelajaran utama yang diajarkan setiap hari. Meskipun banyak umat Muslim yang memiliki ponsel pintar pribadi, pemanfaatan teknologi dalam pendidikan belum mencapai potensi maksimalnya karena kurangnya platform digital yang dirancang khusus untuk mendukung kegiatan pembelajaran di luar masjid.

Masalah yang terjadi di TPA Masjid Arraudhah jelas berkaitan dengan infrastruktur jaringan WiFi masjid, yang digunakan secara rutin untuk kegiatan sehari-hari. Berdasarkan hasil uji kecepatan yang dilakukan tiga kali pada waktu yang berbeda selama kegiatan TPA berlangsung, rata-rata kecepatan unduh adalah 1,2 Mbps dan kecepatan unggah adalah 0,7 Mbps, dengan latensi yang relatif tinggi dan kondisi jaringan yang tidak stabil. Pada jam sibuk (sekitar pukul 16.00–17.00 WIB), kecepatan unduh bahkan dapat turun hingga 0,9 Mbps. Menurut Adelakun et al. (2022), situasi ini berada di bawah standar pembelajaran interaktif daring, yang idealnya membutuhkan koneksi stabil minimal 5 Mbps agar dapat membuat konten multimedia secara tepat waktu, sehingga meningkatkan keterlibatan pengguna dan efisiensi penyebaran materi.

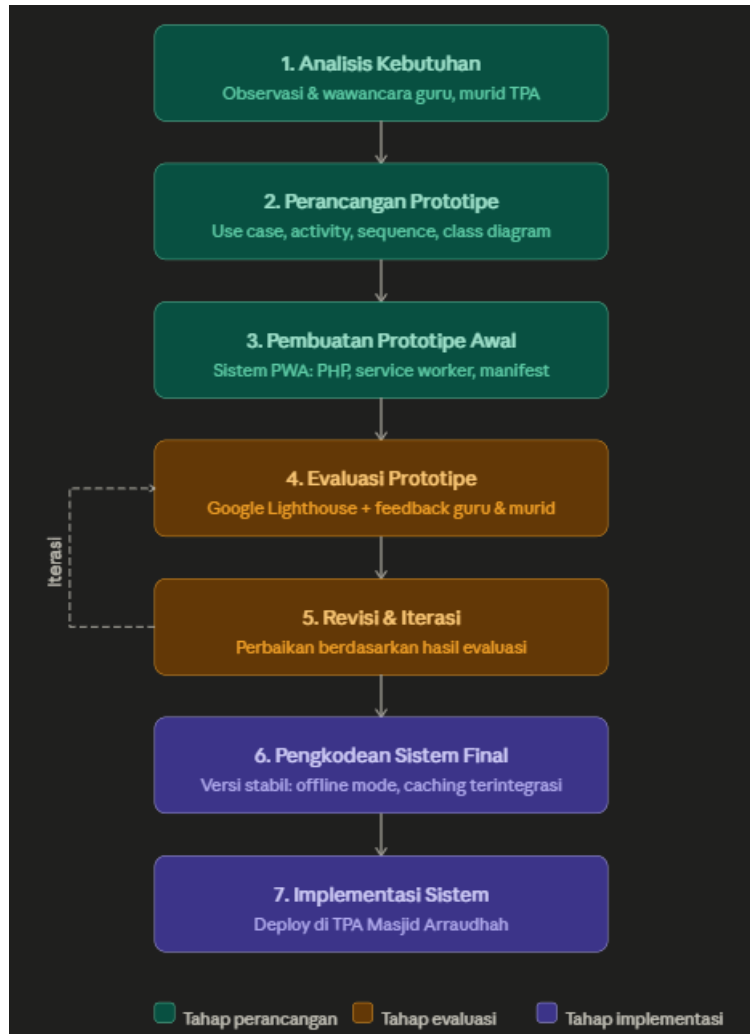
Sebagai solusi atas masalah konektivitas yang disebutkan di atas, teknologi Progressive Web App (PWA) dengan strategi "offline-first" sangat relevan untuk diterapkan karena kemampuannya berfungsi dalam lingkungan tanpa jaringan. Menurut Adelin et al. (2024), PWA memungkinkan aplikasi web diimplementasikan secara lokal melalui penggunaan fitur caching dan Service Worker, sehingga konten dapat diakses bahkan tanpa koneksi internet. Selain itu, penggunaan PWA meningkatkan responsivitas dan memudahkan penginstalan aplikasi web menggunakan browser tanpa harus membayarnya (Hardianty, 2022). Selain itu, fitur interaktif seperti notifikasi push dapat meningkatkan keterlibatan pengguna dan interaksi dengan platform pembelajaran digital (Amrullah et al., 2021).

Fokus penelitian ini adalah pada penerapan teknologi PWA, yang secara teknis dioptimalkan untuk lingkungan pembelajaran non-formal dengan kecepatan jaringan kurang dari 2 Mbps. Kontribusi utamanya adalah pengembangan sistem yang mengintegrasikan mode offline untuk konten video dan PDF, pengisian jawaban ujian secara otomatis saat koneksi pertama kali terjalin, serta pelacakan kemajuan murid dalam satu platform. Kualitas aplikasi dinilai melalui evaluasi teknis menggunakan Google Lighthouse untuk menentukan standar kinerja dan masalah aksesibilitas bagi pengguna di TPA Masjid Arraudhah. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan solusi praktis bagi organisasi pendidikan skala kecil dalam mengadopsi teknologi daring terkini.

TPA Masjid Arraudhah dianggap sebagai objek penelitian karena memiliki kebutuhan akan media pembelajaran digital, namun juga menghadapi tantangan terkait infrastruktur internet yang memengaruhi penyebaran materi dan pelaksanaan evaluasi pembelajaran. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem e-learning berbasis Progressive Web Apps (PWA) dengan pendekatan "offline-first" sebagai solusi yang dapat beradaptasi dengan kondisi jaringan saat ini.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode pengembangan sistem Prototyping, yaitu pendekatan yang memungkinkan pembuatan sistem secara bertahap melalui pembuatan model awal (prototype) yang kemudian dievaluasi dan disempurnakan berdasarkan umpan balik pengguna. Metode ini dipilih karena mampu menyesuaikan kebutuhan pengguna yang dinamis serta mendukung pengembangan sistem secara iterative (Kustanto et al., 2024).

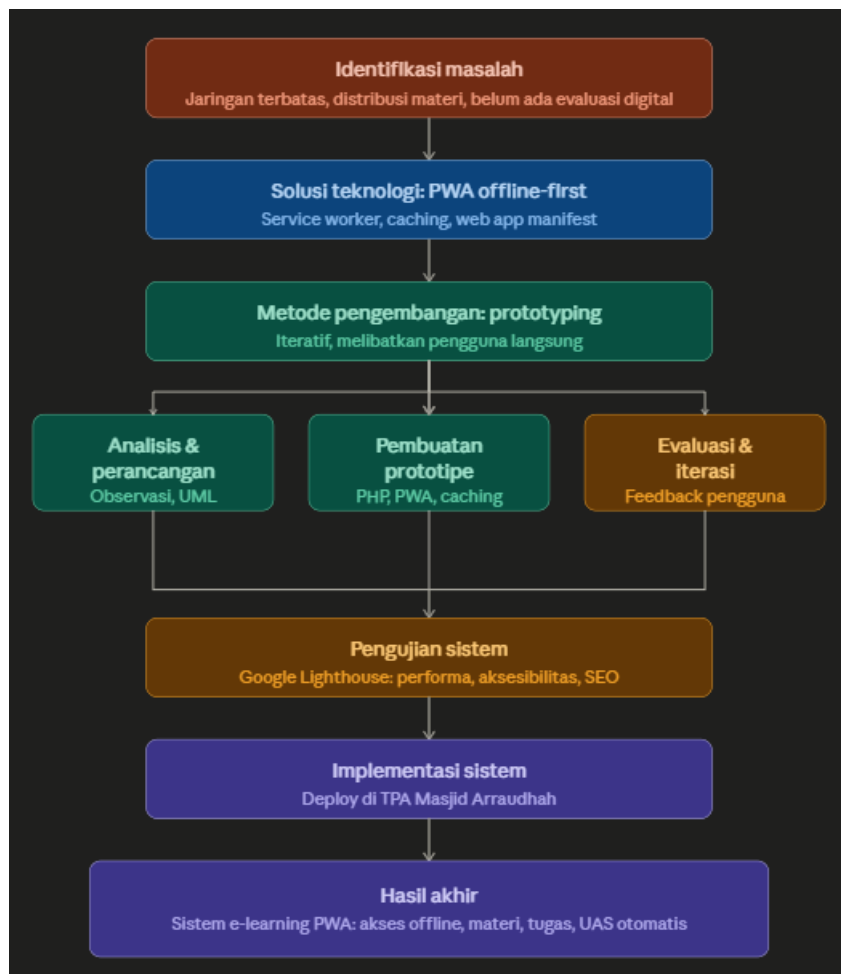


Gambar 1. Metode Prototyping

1. Analisis Kebutuhan: Langkah pertama dilakukan melalui pengamatan jangka panjang serta wawancara dengan para guru dan siswa di TPA Masjid Arraudhah. Pada tahap ini, tantangan utama yang teridentifikasi adalah kesulitan dalam mengakses bahan ajar, kurangnya koneksi internet, serta tidak adanya sistem evaluasi pembelajaran digital.
2. Perancangan Prototype: perancangan prototype dilakukan dengan menggunakan Unified Modeling Language (UML) untuk membuat model sistem, seperti diagram kasus penggunaan, diagram aktivitas, diagram urutan, dan diagram kelas. Tujuan dari perancangan prototype adalah untuk memberikan gambaran terstruktur mengenai sistem kerja yang akan dikembangkan.
3. Pembuatan Prototype Awal: sistem e-learning daring dikembangkan menggunakan Progressive Web Apps (PWA). Penerapan PWA dilakukan dengan memanfaatkan teknologi Service Worker untuk meningkatkan kemampuan penyimpanan dalam cache dan akses tanpa koneksi internet, serta teknologi Web App Manifest agar aplikasi dapat berjalan layaknya aplikasi asli.
4. Evaluasi Prototype: Pengujian dilakukan menggunakan alat Google Lighthouse untuk menilai kinerja, aksesibilitas, praktik terbaik, dan SEO, yang merupakan indikator penting kualitas aplikasi web.

5. Revisi dan Iterasi: Berdasarkan hasil evaluasi, sistem tersebut terus disempurnakan secara bertahap hingga memenuhi kebutuhan pengguna. Untuk memastikan bahwa sistem tersebut dikembangkan sesuai dengan kondisi nyata di lapangan, proses ini memerlukan masukan dari pengguna, baik guru maupun siswa.
6. Pengkodean Sistem Final: Setelah prototipe dinyatakan layak melalui evaluasi dan iterasi, sistem secara keseluruhan kemudian diimplementasikan. Pada tahap ini, sistem dikembangkan menjadi versi yang lebih stabil dan fungsional yang mengintegrasikan fitur-fitur PWA, termasuk mode offline, mekanisme penyimpanan dalam cache melalui Service Worker, dan Web App Manifest.
7. Implementasi Sistem: Sistem ini memungkinkan pengguna untuk mengakses materi pembelajaran secara offline, menyelesaikan tugas, dan mengikuti ujian akhir (UAS) melalui proses otomatis yang didasarkan pada aturan.

Untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai alur penelitian, dapat digunakan kerangka berpikir berikut:



Gambar 2. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir penelitian ini didasarkan pada identifikasi masalah utama di TPA Masjid Arraudhah, yaitu infrastruktur jaringan internet yang menghambat proses pembelajaran berbasis pembelajaran daring (Adelakun et al., 2022). Salah satu solusinya adalah teknologi Progressive Web App (PWA) dengan pendekatan offline-first yang menggunakan service worker dan mekanisme caching sehingga konten dapat diakses tanpa koneksi internet (Adelin et al., 2024).

Pengembangan sistem dilakukan dengan menggunakan metode prototipe iteratif yang melibatkan masukan dari pengguna, dimulai dari analisis kebutuhan dan berlanjut hingga evaluasi serta penyempurnaan sistem (Kustanto et al., 2024). Kualitas sistem kemudian dievaluasi menggunakan Google Lighthouse untuk meningkatkan kinerja, aksesibilitas, dan SEO. Produk akhir yang diharapkan adalah sistem e-learning berbasis PWA yang dapat memfasilitasi akses materi secara offline, pengelolaan tugas, dan ujian akhir (UAS) dengan pemrosesan otomatis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penerapan sistem e-learning berbasis Progressive Web App (PWA) di TPA Masjid Arraudhah disajikan pada bagian ini. Hal ini mencakup pengembangan sistem secara keseluruhan, penerapan fitur ujian dan penilaian secara otomatis, penggunaan teknologi PWA dengan strategi offline-first, serta hasil proses kerja menggunakan Google Lighthouse. Pengembangan sistem dilakukan secara berulang menggunakan metode prototype dengan bantuan guru dan murid sebagai pengguna akhir, sehingga sistem yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan pengguna (Kustanto et al., 2024).

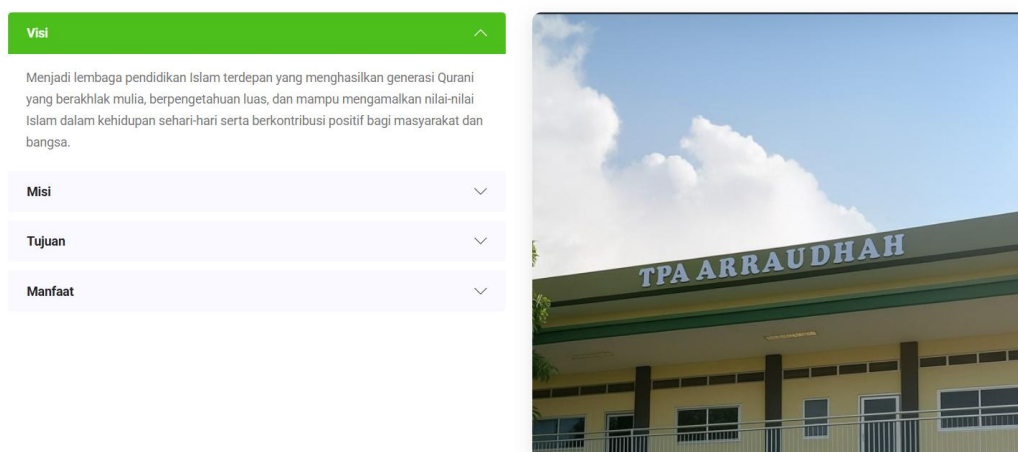
Hasil pengembangan sistem

Hasil penelitian ini mencakup sistem e-learning berbasis Progressive Web Apps (PWA) yang dapat diakses melalui web dan diinstal pada perangkat pengguna tanpa perlu melalui app store. Sistem ini dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman PHP dengan kerangka kerja CodeIgniter dan ditujukan untuk mendukung kegiatan pendidikan di lingkungan TPA Masjid Arraudhah yang memiliki keterbatasan koneksi internet.

Sistem ini menyediakan tiga jenis pengguna dengan tingkat akses yang berbeda: admin, guru, dan murid. Administrator bertugas mengelola data pengguna, jadwal, dan dokumentasi kegiatan. Guru berperan memantau perkembangan murid, tugas, dan ujian akhir. Murid, di sisi lain, memiliki akses ke materi, tugas, dan ujian akhir digital (UAS).



Gambar 3. Halaman tampilan awal semua pengguna

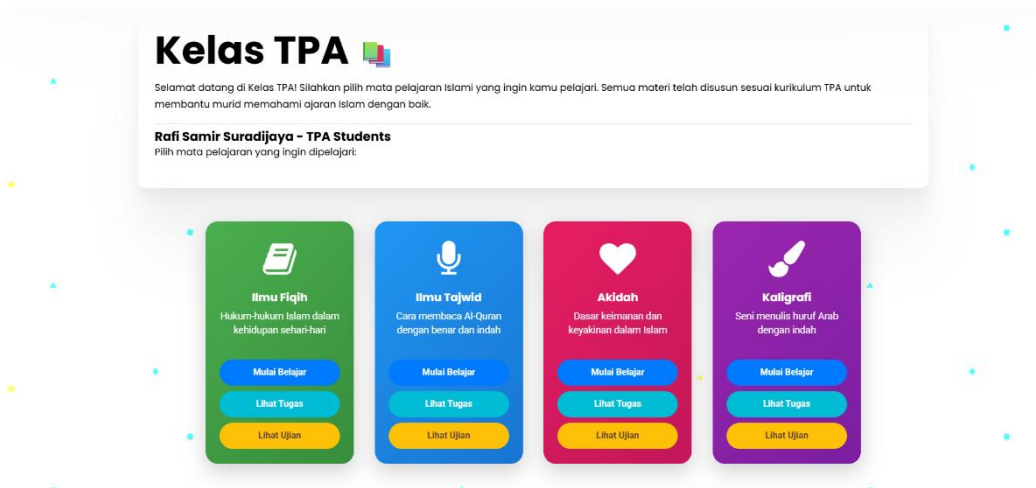


Taman Pendidikan Al-Quran (TPA) hadir sebagai solusi pembelajaran Islam modern yang menggabungkan nilai-nilai tradisional dengan teknologi terkini. Kami berkomitmen untuk memberikan pendidikan Al-Quran yang berkualitas tinggi, mudah diakses, dan sesuai dengan kebutuhan zaman. Dengan dukungan guru berpengalaman dan metode pembelajaran yang telah terbukti efektif, TPA menjadi pilihan terbaik bagi murid yang ingin mendalami ilmu agama Islam dengan cara yang menyenangkan dan bermakna.

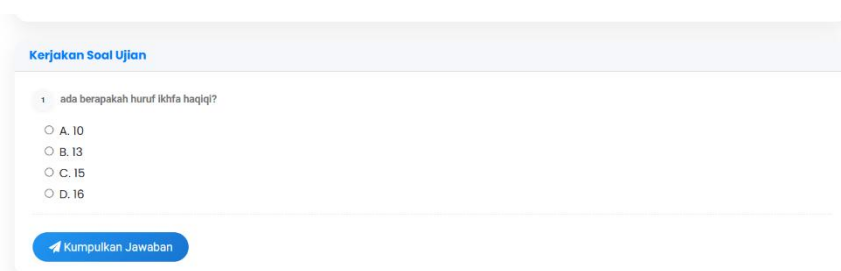
Gambar 4. Tentang TPA Masjid Arraudhah

Implementasi Fitur Ujian dan Penilaian Otomatis

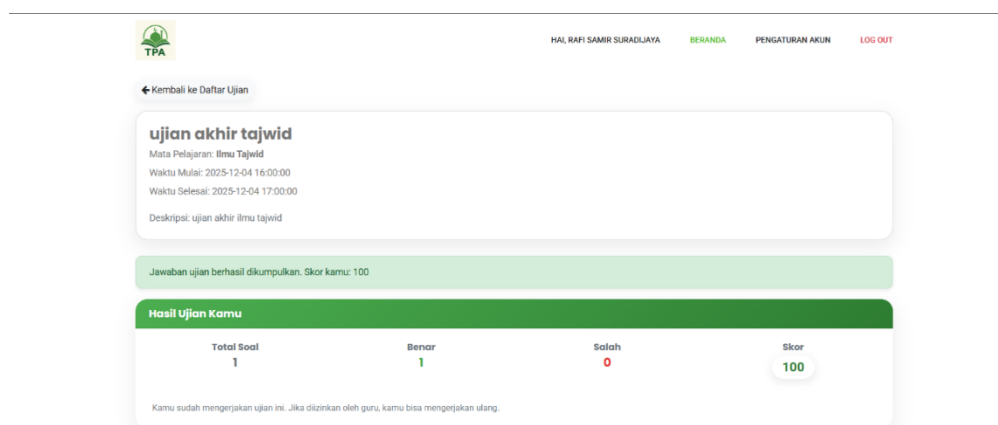
Fitur ujian akhir dikembangkan untuk meningkatkan pemahaman murid terhadap materi yang telah dipelajari sebelumnya. Melalui menu manajemen ujian, guru dapat memasukkan soal pilihan ganda beserta kunci jawabannya. Murid kemudian dapat menggunakan sistem ini untuk membuat ujian secara digital. Setelah ujian selesai, sistem secara otomatis menghitung nilai berdasarkan kesesuaian jawaban siswa dengan kunci jawaban yang telah ditetapkan oleh guru, sehingga proses penilaian tidak perlu dilakukan secara manual.



Gambar 5. Halaman tampilan akses kelas untuk murid



Gambar 6. Halaman Pengerjaan Ujian



Gambar 7. Halaman Hasil Nilai Ujian Otomatis

Implementasi Progressive Web Apps (PWA)

Teknologi PWA diimplementasikan menggunakan service worker dan web app manifest. Kedua komponen ini memungkinkan sistem untuk menyimpan berkas aplikasi, berkas video, PDF, dan konten yang dibuat pengguna di cache pengguna, sehingga konten tersebut tetap dapat

diakses meskipun koneksi internet sedang lambat. Mekanisme ini bekerja dengan cara mencegat permintaan jaringan dan melayani konten dari *cache* lokal, sehingga aplikasi tetap responsif meskipun jaringan tidak tersedia (Idowu, 2022).

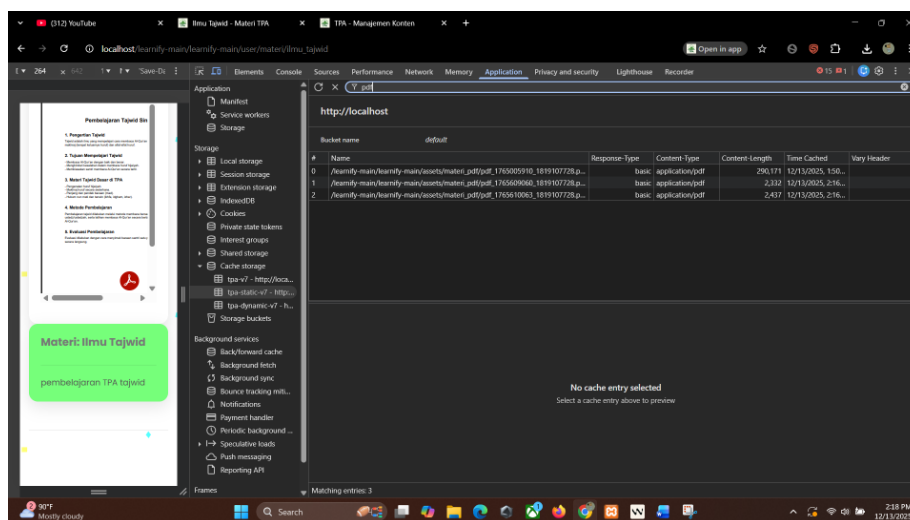
Sistem ini memiliki dua strategi penyimpanan *cache* utama. Pertama, *Cache First* digunakan untuk elemen statis seperti CSS, JavaScript, dan logo aplikasi yang disimpan di *cache* terlebih dahulu pada saat instalasi pertama. Kedua, penyimpanan *cache* dinamis digunakan untuk konten berskala besar (seperti video dan PDF) yang secara otomatis disimpan dalam *cache* saat diakses pertama kali oleh pengguna. Selain itu, fitur sinkronisasi otomatis (sinkronisasi latar belakang) memungkinkan data yang dikirim dalam keadaan offline untuk secara otomatis dikirim ke server begitu koneksi pulih. Selain itu, aplikasi tersebut dapat ditambahkan ke layar utama perangkat menggunakan fitur “add to home screen”, yang memungkinkan pengguna untuk menggunakan aplikasi bawaan tanpa harus membuka app store.



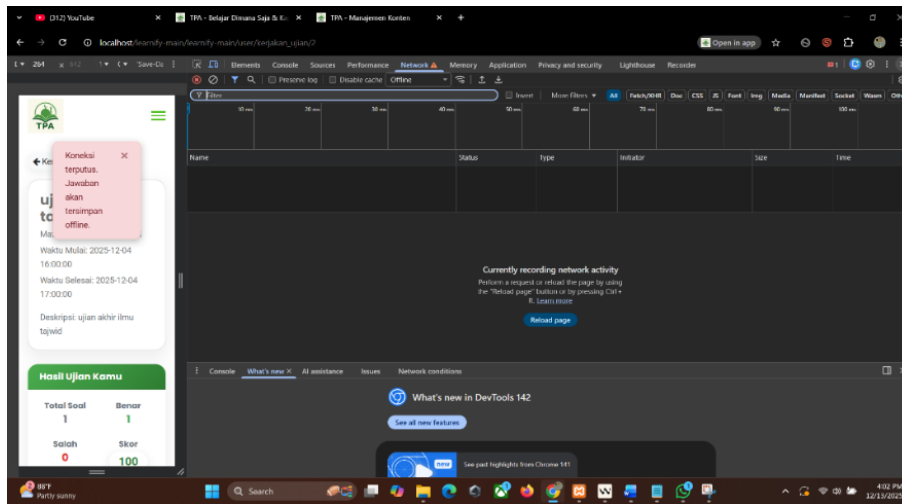
Gambar 8. Instalasi add to home screen

Service worker pada *sw.js* menyimpan sebagian file penting (CSS/JS, logo) serta materi video dan PDF yang sudah pernah diakses ke dalam *cache*. Materi yang sudah terbuka tetap bisa diakses ketika koneksi lemah atau terputus sementara tanpa mengunduh ulang dari awal.

Simulasi offline & notifikasi penyimpanan jawaban – Tab Network di-set ke Offline sementara halaman ujian menampilkan toast “Koneksi terputus. Jawaban akan tersimpan offline”, menunjukkan mekanisme fallback ketika jaringan hilang.

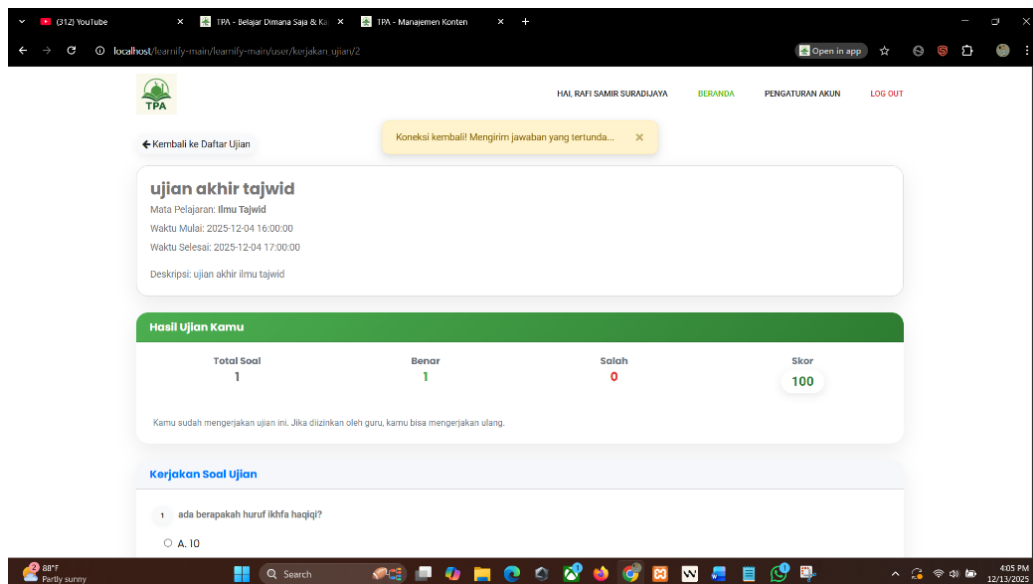


Gambar 9. Mode offline (materi tetap tampil saat koneksi putus)



Gambar 10. Tampilan simulasi saat offline

Sinkronisasi ulang setelah online – Saat koneksi kembali, sistem otomatis mengirim jawaban tertunda (“Koneksi kembali! Mengirim jawaban yang tertunda...”) dan hasil ujian tetap ditampilkan, menegaskan proses sinkronisasi.

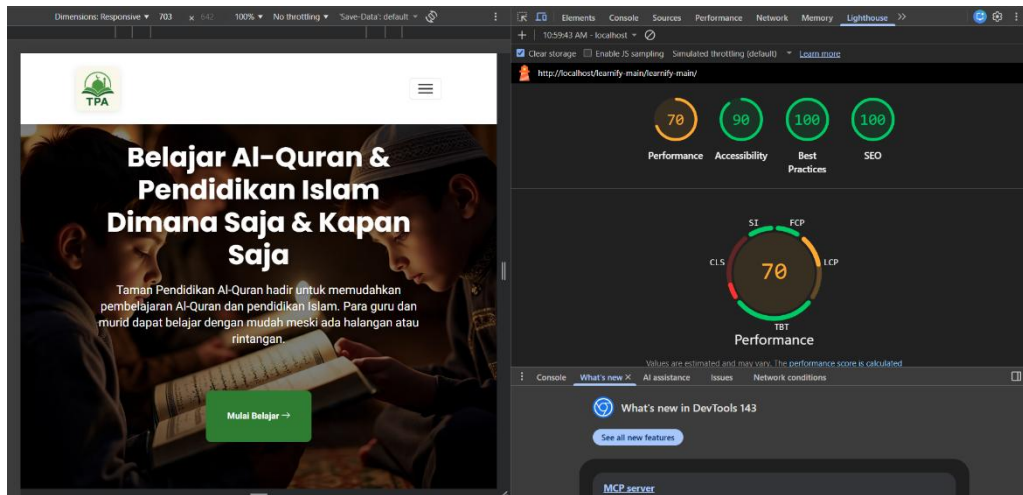


Gambar 11. Sinkronisasi jawaban ujian saat online kembali

Hasil Pengujian Kinerja dengan Google Lighthouse

Pengujian kinerja sistem dilakukan dengan menggunakan Google Lighthouse untuk meningkatkan kualitas aplikasi dari segi aksesibilitas, praktik terbaik, dan SEO. Lighthouse merupakan salah satu alat evaluasi teknis berbasis web yang umum digunakan untuk mengukur standar kinerja dan aksesibilitas sistem (Ratnadhita et al., 2023). Berdasarkan hasil penelitian, aplikasi ini memperoleh skor 90 untuk aksesibilitas, 100 untuk best practices, dan 100 untuk SEO. Skor tinggi pada aspek aksesibilitas menunjukkan bahwa sistem telah memenuhi standar kemudahan penggunaan bagi pengguna awam dan dapat digunakan di berbagai perangkat. Skor 100 pada best practices menunjukkan bahwa sistem telah mematuhi standar pengembangan web modern, seperti penggunaan HTTPS, tidak adanya API yang usang, dan keamanan yang baik. Di sisi lain, skor SEO 100 memastikan bahwa konten online dapat dioptimalkan dan ditemukan.

Meskipun skor kinerjanya sekitar 70, kondisi ini menunjukkan bahwa sistem perlu membuat berkas multimedia, seperti video dan PDF, dalam ukuran yang sangat besar. Namun, dibandingkan dengan aplikasi web konvensional tanpa PWA, mekanisme penyimpanan awal yang diterapkan oleh service worker secara signifikan mengurangi beban jaringan pada akses berikutnya.



Gambar 12. Tampilan hasil audit Lighthouse

Pembahasan

Hasil penelitian dan pengembangan menunjukkan bahwa sistem e-learning berbasis PWA dapat menjadi solusi yang fleksibel untuk infrastruktur jaringan di TPA Masjid Arraudhah. Berdasarkan temuan penelitian, kecepatan internet rata-rata di lokasi tersebut hanya 1,2 Mbps, yang berada di bawah kecepatan belajar yang direkomendasikan sebesar 5 Mbps (Adelakun et al., 2022). Melalui penggunaan strategi caching dan mekanisme service worker, sistem ini berhasil meminimalkan ketergantungan pada jaringan sehingga siswa tetap dapat mengakses materi meskipun koneksi tidak stabil.

Hal ini sejalan dengan temuan penelitian Hardianty et al. (2022), yang menunjukkan bahwa penggunaan PWA dalam sistem e-learning dapat meningkatkan aksesibilitas dan kemudahan instalasi aplikasi tanpa harus bergantung pada toko aplikasi. Selain itu, keterampilan "offline-first" yang dikembangkan dalam penelitian ini mendukung temuan Adelin et al. (2024) bahwa service worker efektif dalam menyediakan dukungan fungsional saat offline untuk aplikasi berbasis web. Penerapan PWA sebagai solusi pembelajaran digital ini juga sejalan dengan tren transformasi pendidikan di abad ke-21 yang semakin mendorong adopsi teknologi web modern secara adaptif dan efisien (Zou et al., 2025).

Namun, terdapat beberapa perbedaan dalam penelitian ini. Pengujian dilakukan secara teknis menggunakan Google Lighthouse dan tidak mencakup penelitian empiris mengenai efektivitas hasil pembelajaran. Selain itu, akses offline saat ini terbatas pada konten yang telah diakses sebelumnya, sehingga pengguna baru harus memiliki akses internet untuk memulai proses tersebut.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem e-learning berbasis Progressive Web App (PWA) yang dioptimalkan untuk kondisi koneksi internet di TPA Masjid Arraudhah dengan kecepatan rata-rata 1,2 Mbps. Ketika teknologi PWA digunakan melalui mekanisme service worker dan aplikasi web, hal ini dapat memberikan akses pembelajaran yang stabil bahkan saat jaringan tidak tersedia, dengan sistem otomatis yang memungkinkan pengiriman data jawaban ujian begitu koneksi pulih. Hasil evaluasi Google Lighthouse menunjukkan kualitas aplikasi yang sangat baik dengan skor Aksesibilitas 90, Praktik Terbaik 100, dan SEO 100, yang menunjukkan bahwa sistem ini memenuhi standar aplikasi web saat ini dan dapat digunakan secara optimal oleh pengguna di lingkungan pembelajaran non-formal. Dengan demikian, e-learning berbasis PWA merupakan solusi teknologi yang efektif dan efisien untuk mendukung transformasi digital di organisasi pendidikan non-formal yang memiliki keterbatasan infrastruktur jaringan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam pelaksanaan penelitian ini. Apresiasi yang sangat tulus kepada pengurus, guru, dan murid TPA Masjid Arraudhah didorong untuk bekerja sama selama proses observasi, wawancara, dan pengujian sistem. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Universitas Esa Unggul Bekasi atas fasilitas akademik dan lingkungan penelitian yang mendukung, serta kepada

semua dosen pembimbing atas arahan dan masukan yang sangat berharga selama proses penelitian ini.

REFERENSI

- Adelakun, N. O., Omolola, S. A., Mosaku, A. O., & Adebola, M. S. (2022). Empirical study on electronic learning system: Benefits, challenges and prospects. *International Journal of Science Education and Cultural Studies*, 1(2), 45-58. <https://doi.org/10.58291/ijsecs.v1i2.58>
- Adelin, N. M. (2024a). Implementasi Progressive Web Apps (PWA) Untuk Meningkatkan Kinerja dan Performa Situs Maritimpreneur. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i1.3904>
- Agnia Hardianty, D., & Yustiana, I. (2022a). Rancang Bangun Aplikasi E-Learning Berbasis Progressive Web Apps Untuk Menunjang Pembelajaran Online dengan Metode Prototyping. In *Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI)* (Vol. 6, Issue 2). <https://ejournal.tunasbangsa.ac.id/index.php/jsakti/article/view/487>
- Alkhawaja, M. I., Halim, M. S. A., Abumandil, M. S. S., & Al-Adwan, A. S. (2022). System Quality and Student's Acceptance of the E-learning System: The Serial Mediation of Perceived Usefulness and Intention to Use. *Contemporary Educational Technology*, 14(2). <https://doi.org/10.30935/CEDETECH/11525>
- Alyoussef, I. (2021). E-Learning System Use During Emergency: An Empirical Study During the COVID-19 Pandemic. *Frontiers in Education*, 6. <https://doi.org/10.3389/educ.2021.677753>
- Amrullah, A., Salim, Y., & Rachman Manga, A. (2021). Buletin Sistem Informasi dan Teknologi Islam Implementasi Progressive Web App Terhadap Aplikasi E-Commerce Sebagai Solusi Untuk Meningkatkan Kinerja Aplikasi Berbasis Web INFORMASI ARTIKEL ABSTRAK. 2(3), 213-221. <https://doi.org/10.33096/busiti.v2i3.912>
- Haryadi, R., Nuraini, H., & Kansaa, A. (2021). PENGARUH MEDIA PEMBELAJARAN E- LEARNING TERHADAP HASIL BELAJAR SISWA. *AtTàlim : Jurnal Pendidikan*, 7(1), 2548-4419. <https://ejournal.unzah.ac.id/index.php/attalim/article/view/426>
- Idowu, S. A. (2022). SERVICE WORKERS (SW): FACILITATING OFFLINE ACESSIBILITY IN WEB APPLICATIONS. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 13(2), 1-8. <https://doi.org/10.26483/ijarcs.v13i2.6810>
- Kustanto, P., Bram Khalil, R., & Noe'man, A. (2024). Penerapan Metode Prototype dalam Perancangan Media Pembelajaran Interaktif. *Journal of Students' Research in Computer Science*, 5(1), 83-94. <https://doi.org/10.31599/6x0dfz47>
- Ota, M. K. (2021). PERSEPSI MAHASISWA TERHADAP MEDIA PEMBELAJARAN E-LEARNING. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Citra Bakti*, 8(2), 314-324. https://www.researchgate.net/publication/356358601_PERSEPSI_MAHASISWA_TERHADAP_MEDIA_PEMBELAJARAN_E-LEARNING
- Putu, L., Derri Sandy, D., Santosa, H., & Mahendrayana, G. (2021). Students' E-Learning Readiness in Remote Teaching Context. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pendidikan*, 5(1), 135-144. <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JJL/article/view/32700>
- Ratnaduhita, N., Sudianto, Y., & Kusumawati, A. (2023). ISO/IEC 25010 : Analisis Kualitas Sistem E-learning sebagai Media Pembelajaran Online. *Journal of Information System, Graphics, Hospitality and Technology*, 5(1), 8-20. <https://doi.org/10.37823/insight.v5i1.302>
- Sajiatmojo, A., Negeri, S., & Selor, T. (2021). PENGGUNAAN E-LEARNING PADA PROSES PEMBELAJARAN DARING. 1(3), 229. <https://garuda.kemdiktisaintek.go.id/documents/detail/2306762>
- Sayaf, A. M. (2023). Adoption of E-learning systems: An integration of ISSM and constructivism theories in higher education. *Heliyon*, 9(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13014>
- Zou, Y., Kuek, F., Feng, W., & Cheng, X. (2025). Digital learning in the 21st century: trends, challenges, and innovations in technology integration. In *Frontiers in Education* (Vol. 10). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/educ.2025.1562391>