

Penerapan Arsitektur Microservice dan Progressive Web Apps (PWA) pada E-Learning Sekolah Hinterland

Magdalena Pardosi* , Dodi Prima Resda
Politeknik Negeri Batam, Indonesia

Email: rezapardosi27@gmail.com*, dodi.prima@polibatam.ac.id

Abstrak

Pendidikan di daerah pedalaman menghadapi banyak tantangan, termasuk infrastruktur yang terbatas, konektivitas internet yang tidak stabil, dan akses terbatas ke perangkat digital. Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan solusi teknologi yang fleksibel, ringan, dan mampu beroperasi dalam berbagai kondisi jaringan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menerapkan sistem E-Learning berbasis arsitektur layanan mikro yang terintegrasi dengan teknologi Progressive Web Apps (PWA) untuk meningkatkan aksesibilitas dan efisiensi pembelajaran di sekolah-sekolah pedalaman. Arsitektur layanan mikro memungkinkan sistem E-Learning dikembangkan secara modular, memungkinkan setiap layanan dikembangkan, diuji, dan dioperasikan secara independen. Pendekatan ini memfasilitasi pemeliharaan yang lebih mudah, pengembangan berkelanjutan, dan skalabilitas sistem. Sementara itu, teknologi PWA memungkinkan platform E-Learning diakses seperti aplikasi seluler asli, menawarkan kemampuan offline, caching data, dan peningkatan kinerja—fitur yang sangat cocok untuk kondisi internet yang terbatas di daerah pedalaman. Hasil implementasi menunjukkan bahwa kombinasi layanan mikro dan PWA meningkatkan keandalan dan aksesibilitas sistem E-Learning di sekolah pedalaman. Pengujian sistem yang dilakukan di beberapa sekolah terpencil menunjukkan peningkatan partisipasi siswa dan manajemen konten yang lebih efisien oleh guru. Temuan ini menunjukkan bahwa adopsi pendekatan teknologi adaptif dapat berfungsi sebagai alternatif yang layak untuk digitalisasi pendidikan di daerah dengan infrastruktur terbatas.

Keyword: E-Learning, Microservice, Progressive Web Apps (PWA), Hinterland, Digitalisasi Pendidikan, Aksesibilitas.

Abstract

Education in hinterland areas faces numerous challenges, including limited infrastructure, unstable internet connectivity, and restricted access to digital devices. To address these issues, a technological solution that is flexible, lightweight, and capable of operating under various network conditions is required. This study aims to design and implement an E-Learning system based on a microservice architecture integrated with Progressive Web Apps (PWA) technology to enhance accessibility and learning efficiency in hinterland schools. The microservice architecture enables the E-Learning system to be developed in a modular manner, allowing each service to be developed, tested, and operated independently. This approach facilitates easier maintenance, continuous development, and system scalability. Meanwhile, PWA technology allows the E-Learning platform to be accessed like a native mobile application, offering offline capabilities, data caching, and improved performance—features well-suited to the limited internet conditions in hinterland areas. The implementation results indicate that the combination of microservices and PWA improves the reliability and accessibility of E-Learning systems in hinterland schools. System testing conducted in several remote schools demonstrated increased student participation and more efficient content management by teachers. These findings suggest that the adoption of adaptive technological approaches can serve as a viable alternative for the digitalization of education in areas with limited infrastructure.

Keyword: E-Learning, Microservice, Progressive Web Apps (PWA), Hinterland, Digitalisasi Pendidikan, Aksesibilitas.

PENDAHULUAN

Pendidikan merupakan hak dasar setiap warga negara tanpa terkecuali, termasuk mereka yang berada di wilayah hinterland atau daerah terpencil (Hussain, Wang, & Rahim, 2013; Hatlevik & Christophersen, 2013). Namun, kesenjangan akses terhadap pendidikan masih menjadi permasalahan krusial yang dihadapi oleh pemerintah dan masyarakat di berbagai negara berkembang, termasuk Indonesia (Edwards & McKinnon, 2019; Kaufman, 2020). Daerah hinterland cenderung mengalami hambatan geografis, kurangnya infrastruktur teknologi, serta keterbatasan sumber daya manusia dan finansial dalam menyelenggarakan sistem pendidikan yang setara dengan daerah perkotaan (Graham & Van Dijk, 2020). Akibatnya, banyak anak-anak di wilayah ini yang tidak mendapatkan akses pembelajaran yang optima (Arliand, 2022).

Seiring dengan berkembangnya teknologi informasi, digitalisasi pendidikan melalui platform E-Learning telah menjadi alternatif solusi untuk menjangkau daerah-daerah yang sulit dijangkau secara fisik (Perrin, 2019; Wolff, 2016). Namun, implementasi E-Learning di wilayah hinterland tidaklah semudah yang dibayangkan (Fowler, 2025; Richardson, 2019). Tantangan utama seperti keterbatasan koneksi internet, keterbatasan perangkat keras (gadget), serta kurangnya pelatihan teknologi kepada guru dan siswa membuat sistem E-Learning konvensional sulit diterapkan secara efektif. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan teknologi yang adaptif, ringan, dan efisien agar dapat diterapkan di lingkungan dengan keterbatasan tersebut (Angelini & Hosanna Bangkalang, 2024).

Arsitektur microservice muncul sebagai pendekatan modern dalam pengembangan perangkat lunak yang memecah sistem besar menjadi layanan-layanan kecil yang independen (Hannousse & Yahiouche, 2020; Newman, 2015). Dalam konteks pengembangan platform E-Learning, arsitektur ini memungkinkan pengelolaan fitur-fitur utama seperti manajemen konten, autentikasi pengguna, kuis daring, hingga forum diskusi, dilakukan secara modular (Amaral, Polo, Carrera, Mohamed, Unuvar, & Steinder, 2015; Mendonca, Jamshidi, Garlan, & Pahl, 2019). Hal ini mempermudah proses pengembangan, perbaikan bug, serta pemutakhiran fitur tanpa harus mengganggu keseluruhan sistem. Selain itu, pendekatan ini juga memberikan fleksibilitas tinggi dalam deployment di berbagai lingkungan server yang terbatas (Baehaqi et al., 2023).

Di sisi lain, penggunaan Progressive Web Apps (PWA) menjadi pelengkap yang sangat strategis dalam menjawab permasalahan akses pengguna akhir di wilayah hinterland (Graham & Van Dijk, 2020; Kaufman, 2020). PWA adalah aplikasi web yang dapat diakses melalui browser namun memiliki tampilan dan fungsi menyerupai aplikasi native. Keunggulan PWA meliputi kemampuan bekerja dalam kondisi offline, konsumsi data yang rendah, serta dapat diinstal langsung pada perangkat tanpa harus melalui toko aplikasi.

Fitur-fitur ini sangat relevan bagi pengguna di daerah terpencil yang sering menghadapi kendala koneksi internet yang tidak stabil (Studi & Informasi, 1957).

Penerapan gabungan arsitektur *microservice* dan PWA diyakini mampu menciptakan platform E-Learning yang adaptif terhadap lingkungan *hinterland* (Swart, 2016; Li & Zhang, 2022). Sistem yang dibangun dengan pendekatan ini tidak hanya memiliki efisiensi tinggi dalam pengembangan dan pengelolaan, tetapi juga memberikan pengalaman belajar yang lebih lancar dan konsisten bagi pengguna (Hussain et al., 2013; Richardson, 2019). Di tengah keterbatasan infrastruktur, teknologi ini mampu menjembatani kebutuhan pendidikan jarak jauh secara efektif dan inklusif. Dengan demikian, teknologi menjadi katalisator penting dalam mempersempit kesenjangan pendidikan antara wilayah kota dan *hinterland* (Judul, 2024).

Penelitian sebelumnya oleh Sakapertana (2025) melakukan *literature review* teknis PWA-based LMS yang mengevaluasi performa aplikasi terhadap keterbatasan infrastruktur di Indonesia. Studi ini menyoroti keunggulan PWA seperti akses offline, penggunaan data rendah, dan kompatibilitas perangkat rendah spesifikasi. Namun, studi tersebut bersifat konseptual dan belum diuji implementasinya di lingkungan pendidikan di wilayah *hinterland* yang memiliki tantangan konektivitas nyata. Kedua, penelitian oleh Kurniawan & Dzikri (2024) mengembangkan *prototype* platform e-learning berbasis *microservices* dan API Gateway. Hasilnya menunjukkan peningkatan fleksibilitas, skalabilitas, dan aksesibilitas, khususnya bagi pengguna di daerah terpencil. Namun penelitian ini belum mengevaluasi pengalaman pengguna secara langsung maupun penerimaan sistem di sekolah riil di daerah *hinterland*.

Kedua studi tersebut fokus secara terpisah pada teknis PWA ataupun *microservice*, namun belum menggabungkan kedua pendekatan dalam platform e-learning yang diuji dan dievaluasi langsung di sekolah-sekolah di wilayah *hinterland*. Penelitian ini memiliki kebaruan dengan merancang dan menerapkan platform e-learning berbasis *microservice* dan PWA di sekolah dasar dan menengah di daerah terpencil, sekaligus mengevaluasi performansi teknis serta penerimaan pengguna (*user acceptance*) dalam konteks nyata.

Penelitian ini difokuskan pada perancangan dan implementasi platform E-Learning berbasis *microservice* dan PWA pada beberapa sekolah dasar dan menengah yang berada di wilayah *hinterland*. Tahapan penelitian meliputi analisis kebutuhan, perancangan sistem, pengembangan, pengujian, hingga evaluasi performa dan penerimaan pengguna terhadap sistem. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi sejauh mana teknologi ini dapat meningkatkan partisipasi belajar, memudahkan proses pengajaran, serta mengoptimalkan pengelolaan data pendidikan di lingkungan yang terbatas.

Signifikansi dari penelitian ini terletak pada sumbangsuhnya terhadap pengembangan teknologi pendidikan yang inklusif. Di tengah upaya pemerintah dalam mewujudkan pemerataan pendidikan, teknologi seperti *microservice* dan PWA menjadi solusi praktis dan efisien yang mampu

Penerapan Arsitektur Microservice dan Progressive Web Apps (PWA) pada E-Learning Sekolah Hinterland

melampaui hambatan geografis dan infrastruktur. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi bagi pengembang aplikasi pendidikan, instansi pendidikan, serta pembuat kebijakan untuk mengadopsi pendekatan serupa dalam mengembangkan platform pembelajaran di daerah-daerah tertinggal.

Penelitian ini bertujuan untuk mendesain, mengimplementasikan, dan mengevaluasi efektivitas platform e-learning berbasis microservice dan PWA untuk sekolah di wilayah hinterland, dengan fokus pada performansi sistem dan tingkat penerimaan pengguna (siswa dan guru). Manfaat penelitian mencakup penyediaan model teknologi pendidikan digital yang ringan dan dapat diakses offline, rekomendasi bagi pengembang perangkat lunak pendidikan serta pembuat kebijakan, dan kontribusi dalam memperluas akses pendidikan berkualitas di daerah terpencil Indonesia.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa perangkat lunak (software engineering) dengan metode Research and Development (R&D). Metode ini dipilih karena sesuai untuk menghasilkan produk sistem informasi yang dapat diterapkan secara langsung di lingkungan pengguna. Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan evaluasi. Selain itu, dilakukan pula uji coba terbatas di beberapa sekolah hinterland guna memperoleh umpan balik dari pengguna secara langsung.

Pada tahap analisis kebutuhan, peneliti melakukan observasi dan wawancara dengan guru, siswa, dan staf sekolah di wilayah hinterland untuk menggali permasalahan yang dihadapi serta fitur yang dibutuhkan dalam sistem E-Learning. Hasil dari tahapan ini digunakan sebagai dasar dalam menentukan spesifikasi fungsional dan non-fungsional dari sistem. Kebutuhan utama yang ditemukan antara lain adalah kemampuan akses offline, tampilan antarmuka yang sederhana, performa ringan, serta kemudahan pengelolaan konten pembelajaran.

Perancangan sistem dilakukan dengan pendekatan arsitektur microservice, di mana setiap fitur inti sistem dikembangkan sebagai layanan mandiri yang saling berkomunikasi melalui API. Layanan-layanan tersebut mencakup autentikasi pengguna, manajemen materi, evaluasi pembelajaran, dan forum diskusi. Untuk antarmuka pengguna, digunakan teknologi Progressive Web Apps (PWA) yang dikembangkan dengan framework seperti Vue.js dan Workbox untuk mendukung fungsi offline, caching, serta instalasi langsung di perangkat pengguna (Prasetyo et al., 2025).

Implementasi sistem dilakukan dengan bahasa pemrograman JavaScript (Node.js untuk backend dan Vue.js untuk frontend), serta database MongoDB untuk penyimpanan data. Sistem dihosting pada server cloud dengan kapasitas rendah untuk mensimulasikan keterbatasan infrastruktur. Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode black-box testing untuk memastikan seluruh

fungsi berjalan sesuai kebutuhan, serta pengujian performa (load testing) untuk mengetahui sejauh mana sistem mampu beroperasi pada kondisi jaringan terbatas (Nugraha, 2024).

Evaluasi dilakukan melalui uji coba lapangan selama dua minggu di tiga sekolah hinterland yang memiliki akses internet terbatas. Metode evaluasi mencakup observasi penggunaan sistem, penyebaran kuesioner kepada guru dan siswa, serta wawancara mendalam. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif untuk menilai tingkat keberfungsian sistem, kemudahan penggunaan, serta dampaknya terhadap proses pembelajaran. Hasil evaluasi ini menjadi dasar dalam penyempurnaan sistem dan penyusunan rekomendasi pengembangan lebih lanjut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan teknologi informasi dan komunikasi dalam dunia pendidikan telah menjadi kebutuhan penting, terutama dalam menjawab tantangan pembelajaran di daerah terpencil atau hinterland. Penerapan sistem E-Learning menjadi langkah strategis dalam menyediakan akses pendidikan yang merata. Namun, tanpa pendekatan teknologi yang tepat, sistem ini tidak akan mampu menjangkau secara maksimal komunitas pendidikan di wilayah yang minim infrastruktur.

Dalam konteks penelitian ini, arsitektur *microservice* dipilih karena kemampuannya dalam membangun sistem yang modular dan mudah dikelola. Setiap fitur utama dalam sistem E-Learning, seperti manajemen materi ajar, forum diskusi, dan evaluasi pembelajaran, dikembangkan sebagai layanan terpisah. Hal ini memungkinkan pembaruan dilakukan secara mandiri tanpa mengganggu layanan lainnya, sebuah keunggulan penting dalam kondisi terbatas.

Pemanfaatan *microservice* juga membuat pengembangan sistem menjadi lebih adaptif. Tim pengembang dapat bekerja secara paralel pada modul yang berbeda dan melakukan iterasi lebih cepat. Hal ini terbukti efektif dalam proses implementasi sistem, di mana penyesuaian dapat dilakukan dengan cepat ketika mendapatkan umpan balik dari pengguna sekolah hinterland yang menjadi tempat uji coba.

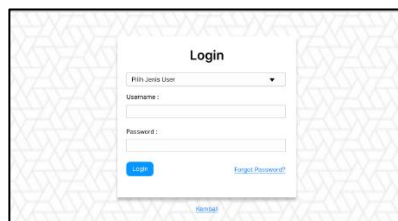
Integrasi *microservice* dengan teknologi *Progressive Web Apps* (PWA) menjadi poin penting dari penelitian ini. PWA dirancang untuk memberikan pengalaman pengguna yang menyerupai aplikasi native namun tetap berbasis web. Di wilayah hinterland, banyak pengguna yang hanya memiliki akses ke perangkat berspesifikasi rendah, sehingga PWA menjadi solusi yang ringan dan hemat sumber daya (Al Fath & Al Amin, 2022).

Salah satu fitur unggulan dari PWA adalah kemampuannya berfungsi secara offline. Hal ini sangat berguna di daerah yang memiliki koneksi internet tidak stabil. Dalam uji coba, siswa dan guru tetap dapat mengakses materi dan mengerjakan latihan meski sedang tidak terhubung dengan internet, karena sistem telah menyimpan data yang dibutuhkan secara lokal melalui *cache*.

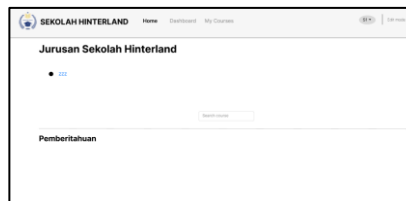
Penerapan Arsitektur Microservice dan Progressive Web Apps (PWA) pada E-Learning Sekolah Hinterland

Fitur service worker dalam PWA membantu mengelola cache secara efisien. Dalam pengujian, pengguna hanya perlu mengakses sistem secara online satu kali untuk mengunduh konten, kemudian konten tersebut dapat digunakan secara offline. Hal ini memberikan fleksibilitas waktu belajar yang lebih besar kepada siswa di daerah yang koneksi internetnya tidak tersedia setiap waktu (Arifien & Edy Sutomo, 2021).

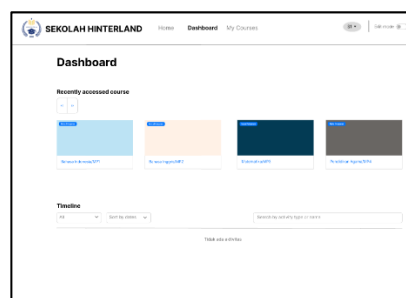
Antarmuka pengguna dirancang dengan prinsip sederhana dan intuitif. Banyak guru dan siswa di wilayah hinterland belum terbiasa menggunakan teknologi canggih, sehingga desain sistem dibuat seminimal mungkin. Penggunaan ikon yang jelas, teks berbahasa lokal, serta navigasi yang konsisten menjadi fokus utama dalam pengembangan UI/UX.



Gambar 1. Mock Up Login Page



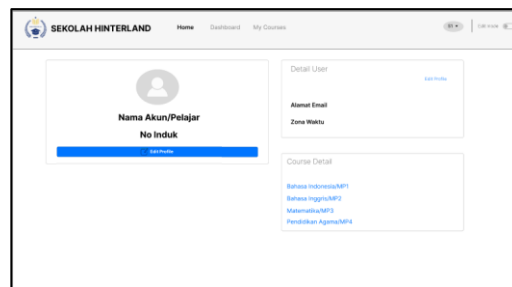
Gambar 2. Mock Up Home Page



Gambar 3. Mock Up Dashboard



Gambar 4. Mock Up My Course



Gambar 5. Mock Up My Course

Hasil observasi menunjukkan bahwa siswa mampu memahami dan mengoperasikan sistem dalam waktu singkat. Bahkan siswa sekolah dasar menunjukkan antusiasme tinggi dalam mengakses materi belajar berbasis digital, yang sebelumnya belum pernah mereka alami. Ini menunjukkan bahwa keterbatasan geografis tidak menjadi penghalang apabila sistem dirancang dengan pendekatan yang kontekstual.

Guru sebagai pengguna utama kedua juga menunjukkan respons positif. Sistem memungkinkan mereka mengunggah materi, memberikan tugas, serta memantau perkembangan siswa tanpa harus memahami proses teknis yang kompleks. Hal ini mempermudah adaptasi teknologi di lingkungan pendidikan hinterland yang belum memiliki tenaga IT khusus.

Dalam evaluasi kinerja sistem, platform menunjukkan stabilitas yang baik dalam berbagai kondisi jaringan. Ketika diuji dalam koneksi 3G yang lemah, waktu muat aplikasi masih berada dalam batas wajar. Hal ini membuktikan bahwa kombinasi PWA dan microservice mampu menghasilkan aplikasi yang efisien dalam pemanfaatan bandwidth.

Pengujian black-box menunjukkan bahwa seluruh fungsi sistem berjalan sesuai spesifikasi. Fitur login, akses materi, kuis interaktif, dan pengunggahan tugas berhasil dijalankan dengan baik dalam berbagai skenario pengguna. Sementara itu, uji performa menunjukkan bahwa sistem dapat menangani hingga 100 pengguna aktif dalam satu waktu tanpa terjadi penurunan signifikan dalam kecepatan respons.

Kuesioner yang disebarkan kepada guru dan siswa menunjukkan tingkat kepuasan yang tinggi. Sebagian besar responden menyatakan sistem mudah digunakan, cepat diakses, dan sangat membantu dalam proses pembelajaran. Bahkan, beberapa guru menyampaikan keinginan agar sistem ini dapat digunakan secara permanen, menggantikan metode pembelajaran konvensional yang terbatas pada buku cetak.

Analisis kualitatif dari wawancara juga menguatkan hasil kuantitatif. Guru mengaku terbantu dalam mempersiapkan bahan ajar dan memonitor aktivitas siswa. Mereka juga merasa lebih percaya diri menggunakan teknologi karena sistem yang digunakan sangat bersahabat. Beberapa menyarankan agar ke

Penerapan Arsitektur Microservice dan Progressive Web Apps (PWA) pada E-Learning Sekolah Hinterland

depannya ditambahkan fitur diskusi antar guru sebagai bentuk kolaborasi profesional.

Siswa menyebutkan bahwa penggunaan sistem membuat mereka lebih tertarik belajar. Tampilan visual, interaktifitas soal, serta kemampuan belajar tanpa internet menjadi faktor utama peningkatan motivasi belajar. Ini menunjukkan bahwa pendekatan teknologi yang tepat dapat mengubah cara pandang siswa terhadap belajar, bahkan di lingkungan yang sebelumnya terisolasi dari kemajuan digital.

Data penggunaan sistem selama dua minggu menunjukkan peningkatan signifikan dalam partisipasi belajar. Rata-rata jumlah siswa yang mengakses materi harian meningkat dua kali lipat dibanding sebelum sistem diterapkan. Tingkat penyelesaian tugas juga meningkat hingga 80%, menunjukkan bahwa sistem mampu mendorong kedisiplinan dan partisipasi aktif siswa.

Sistem ini juga memberikan dampak positif terhadap manajemen sekolah. Kepala sekolah dapat memantau seluruh aktivitas pembelajaran melalui dashboard administrasi yang disediakan. Fitur ini membantu pengambilan keputusan berbasis data dan menjadi bukti kehadiran digitalisasi pendidikan meski dalam skala lokal.

Dari segi pengelolaan server, sistem menunjukkan efisiensi tinggi dalam penggunaan sumber daya. Dengan hanya menggunakan server cloud berkapasitas terbatas, sistem tetap dapat melayani seluruh kebutuhan pengguna tanpa gangguan. Ini menandakan bahwa pendekatan teknologi yang tepat dapat menghasilkan solusi efektif dengan biaya yang rendah.

Kelebihan lain dari arsitektur microservice adalah kemudahan integrasi dengan sistem eksternal. Dalam penelitian ini, sistem diintegrasikan dengan platform penyimpanan cloud untuk backup data, serta layanan email untuk notifikasi. Semua integrasi berjalan lancar tanpa memengaruhi performa utama sistem (L, 2019).

Meskipun demikian, penelitian ini juga menemukan beberapa tantangan. Salah satunya adalah keterbatasan literasi digital sebagian guru dan siswa. Meskipun sistem dirancang sederhana, tetap dibutuhkan pelatihan awal agar semua pengguna memahami fungsi dasar sistem. Oleh karena itu, pendampingan teknis awal menjadi hal yang sangat penting.

Tantangan lainnya adalah ketergantungan terhadap perangkat. Beberapa sekolah masih memiliki keterbatasan jumlah perangkat, sehingga siswa harus bergantian menggunakan perangkat untuk belajar. Solusi jangka panjang adalah pengadaan perangkat atau kerja sama dengan pihak ketiga untuk penyediaan fasilitas digital yang terjangkau.

Dalam jangka panjang, sistem ini perlu dikembangkan lebih lanjut untuk mendukung kurikulum yang terus berkembang. Penambahan fitur seperti integrasi video pembelajaran, sertifikasi daring, dan analisis pembelajaran adaptif menjadi hal yang perlu dipertimbangkan pada tahap selanjutnya.

Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sistem E-Learning yang inklusif. Dengan menggabungkan keunggulan arsitektur

microservice dan teknologi PWA, sistem yang dihasilkan mampu menjawab tantangan nyata di lapangan. Hal ini sekaligus membuktikan bahwa inovasi teknologi dapat menjadi alat transformasi sosial di bidang pendidikan.

Dari perspektif kebijakan, keberhasilan sistem ini menjadi contoh bahwa intervensi berbasis teknologi perlu didukung oleh kebijakan yang memungkinkan fleksibilitas pengadaan dan pelatihan di sekolah-sekolah hinterland. Pemerintah daerah dan pusat perlu menyadari bahwa investasi pada solusi seperti ini tidak hanya efektif, tetapi juga berkelanjutan.

Ke depan, kolaborasi antara pengembang teknologi, akademisi, dan pemerintah menjadi sangat penting. Diperlukan kerja sama lintas sektor untuk memperluas adopsi teknologi pendidikan di wilayah yang tertinggal. Dengan sistem yang telah teruji efektivitasnya, proses replikasi dan skalasi dapat dilakukan secara sistematis.

Dengan demikian, pembahasan ini menegaskan bahwa penerapan arsitektur microservice dan PWA tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga berdampak signifikan terhadap peningkatan kualitas dan keterjangkauan pendidikan di wilayah hinterland. Temuan ini membuka peluang baru bagi transformasi pendidikan yang inklusif, adaptif, dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Penerapan arsitektur microservice dan teknologi Progressive Web Apps (PWA) dalam pengembangan sistem E-Learning terbukti menjadi solusi efektif untuk menjawab tantangan pendidikan di wilayah hinterland. Arsitektur microservice memberikan fleksibilitas tinggi dalam pengembangan dan pemeliharaan sistem, memungkinkan setiap layanan seperti manajemen konten, forum diskusi, hingga evaluasi pembelajaran dijalankan secara independen. Hal ini tidak hanya mempercepat proses pengembangan, tetapi juga memastikan ketahanan sistem saat menghadapi perubahan kebutuhan dan skala penggunaan yang lebih besar. Sementara itu, teknologi PWA menghadirkan pengalaman pengguna yang responsif dan ringan, bahkan dalam kondisi keterbatasan jaringan internet dan spesifikasi perangkat, sehingga menjamin akses pendidikan yang lebih inklusif dan merata.

Dari hasil implementasi dan evaluasi lapangan, sistem ini mendapat respons positif dari pengguna, baik guru maupun siswa. Kemampuan sistem untuk beroperasi secara offline, kemudahan navigasi, dan efisiensi penggunaan data menjadi aspek yang sangat diapresiasi di lingkungan sekolah dengan infrastruktur terbatas. Selain itu, tingkat partisipasi belajar dan penyelesaian tugas menunjukkan peningkatan signifikan setelah sistem diterapkan, yang menandakan bahwa integrasi teknologi yang tepat dapat mendorong motivasi dan kedisiplinan belajar. Penelitian ini memberikan dasar kuat bagi pengembangan sistem serupa dalam konteks yang lebih luas dan menjadi referensi dalam pengambilan kebijakan pendidikan berbasis teknologi di daerah tertinggal.

REFERENSI

- Al Fath, T. R., & Al Amin, I. H. (2022). Implementasi arsitektur microservices menggunakan RESTful API untuk website online course Esploor. *Jurnal Teknik Informatika Unika ST. Thomas (JTIUST)*, 07, 2657–1501.
- Amaral, M., Polo, J., Carrera, D., Mohomed, I., Unuvar, M., & Steinder, M. (2015). Performance evaluation of microservices architectures using containers. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/1511.02043>
- Angelini, S., & Hosanna Bangkalang, D. (2024). Sistemasi: Jurnal sistem informasi rekayasa kebutuhan sistem informasi distribusi bantuan sosial terintegrasi menggunakan pendekatan arsitektur microservices. *Jurnal Sistem Informasi*, 13(3), 2540–9719.
- Arifien, F., Sutomo, E., & (Edy). (2021). Implementasi arsitektur microservices pada sistem informasi akademik STMik Jakarta STI&K menggunakan model Enterprise JavaBeans (EJB) dan Polymer JS. *Universitas Gunadarma*, 5(1), 16424.
- Baehaqi, A., Basit, M. S., Indrajit, R. E., & Kurniawan, R. D. (2023). Front end learning management system development using the Next.js framework. *Jurnal Teknik Informatika (Jutif)*, 4(4), 899–911. <https://doi.org/10.52436/1.jutif.2023.4.4.1273>
- Edwards, D., & McKinnon, D. (2019). Digital inclusion: Accessibility of digital technologies, skills, and communication to individuals and communities. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_inclusion
- Fowler, M. (2025). Microservices. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Microservices>
- Graham, M., & Van Dijk, J. (2020). Digital divide. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_divide
- Hannousse, A., & Yahiouche, S. (2020). Securing microservices and microservice architectures: A systematic mapping study. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2003.07262>
- Hatlevik, O. E., & Christophersen, K.-A. (2013). Digital competence at the beginning of upper secondary school: Identifying factors explaining digital inclusion. *Computers & Education*, 67, 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.004>
- Hussain, S., Wang, Z., & Rahim, S. (2013). E-learning services for rural communities. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/1308.4820>
- Kaufman, D. (2020). Digital divide in rural communities. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_divide_in_rural_communities
- Kurniawan, D. E., & Dzikri, A. (2024). Development of a prototype for microservices architecture and API Gateway integration in an eLearning platform. *Proceedings of the 6th International Conference on Applied Engineering (ICAE)*. EAI.
- Li, Z., & Zhang, Y. (2022). The role of microservice approach in edge

- computing: Opportunities and challenges. Elsevier. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405959523000760>
- Mendonca, N. C., Jamshidi, P., Garlan, D., & Pahl, C. (2019). Developing self-adaptive microservice systems: Challenges and directions. *IEEE Software*, 36(5), 58–65. <https://doi.org/10.1109/MS.2019.2922792>
- Newman, S. (2015). *Building microservices*. O'Reilly Media.
- Perrin, A. (2019). Digital gap between rural and nonrural America persists. Pew Research Center. <https://www.pewresearch.org/short-reads/2019/05/31/digital-gap-between-rural-and-nonrural-america-persists/>
- Prasetyo, B. A., Purnama, A., Rahman, A. A., & Fauzi, E. (2025). Pengembangan dan pendampingan aplikasi absensi QR code untuk monitoring kehadiran guru di SD Muhammadiyah Calingcing. 6(3), 1256–1264.
- Richardson, C. (2019). *Microservice patterns: With examples in Java*. Manning Publications.
- Sakapertana, A. S. (2025). A literature review on technical evaluation of PWA-based LMS for limited access online learning in Indonesia. ResearchGate. <https://atlantispress.com+4ResearchGate+4id.scribd.com+4ResearchGate>
- Swart, S. (2016). Eclipse MicroProfile. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Eclipse_MicroProfile
- Wolff, E. (2016). *Microservices: Flexible software architectures*. Addison-Wesley.