

Rancang Bangun Prototipe Edukasi Low-Bandwidth Menggunakan User-Centered Design di Pedesaan Lampung

Dita Novita Sari✉, Ricco Herdiyan Saputra✉

Sistem Informasi, Fakultas Teknologi & Ilmu Komputer, Institut Bakti Nusantara

Abstrak: Arsitektur aplikasi sarat data memperparah kesenjangan edukasi digital di wilayah pedesaan Lampung akibat minimnya infrastruktur jaringan internet. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun prototipe aplikasi edukasi adaptif bernama EduDesa yang tangguh dalam kondisi konektivitas rendah (*low-bandwidth*). Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah *User-Centered Design* (UCD) guna memastikan seluruh elemen antarmuka dan alur navigasi dikembangkan secara spesifik berdasarkan karakteristik, kebutuhan, serta batasan riil pengguna di lapangan. Guna membuktikan ketangguhan sistem pada arsitektur jaringan minim sumber daya, desain visual awal ditransformasikan ke dalam prototipe kode fungsional sisi klien (*client-side*) berbasis HTML5 semantik dan CSS utilitas. Untuk mengukur tingkat kebergunaan (*usability*) sistem, dilakukan evaluasi kuantitatif menggunakan instrumen *System Usability Scale* (SUS) dengan melibatkan 20 partisipan lokal sebagai subjek uji. Hasil pengujian empiris menunjukkan bahwa prototipe EduDesa berhasil memperoleh skor rata-rata SUS sebesar 79,13. Skor tersebut menempatkan platform pada kategori akseptabilitas *Good* menuju *Excellent*, yang mengindikasikan bahwa sistem sangat layak dan mudah dioperasikan oleh masyarakat pedesaan. Fitur-fitur esensial seperti mode *offline*, simplifikasi visual, dan optimasi ukuran muatan halaman (*page payload size* < 150 KB) terbukti mampu memicu waktu tunggu pemuatan halaman secara optimal (< 2,4 detik pada simulasi jaringan 3G/Edge) serta integrasi konten lokal berupa modul budidaya lada hitam terbukti secara signifikan meningkatkan keterikatan (*engagement*) dan efisiensi interaksi pengguna. Kontribusi penelitian ini adalah menghadirkan spesifikasi antarmuka low-bandwidth fungsional yang teruji secara empiris dan mampu menembus batasan konektivitas. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pendekatan UCD efektif dalam menghasilkan arsitektur teknologi inklusif yang mampu beradaptasi terhadap keterbatasan infrastruktur telekomunikasi di wilayah rural.

Kata Kunci: User-Centered Design; Low-Bandwidth; System Usability Scale; Edukasi Pedesaan; Prototipe

Abstract: Data-heavy application architectures exacerbate digital education inequality in rural Lampung due to limited internet infrastructure. This study aims to design and develop an adaptive educational application prototype named EduDesa, which is resilient under low-bandwidth connectivity conditions. The method applied in this research is User-Centered Design (UCD) to ensure that all interface elements and navigation flows are developed based on the characteristics, needs, and real constraints of users in the field. To validate the system's resilience under resource-constrained networks, the visual layouts were transformed into a client-side functional prototype built using semantic HTML5 and utility CSS. To measure the system's usability, a quantitative evaluation was conducted using the System Usability Scale (SUS) instrument involving 20 local participants as test subjects. The test results show that the EduDesa prototype successfully achieved an average SUS score of 79.13. This score places the platform in the Good to Excellent

acceptability category, indicating that the system is highly feasible and easy to operate by rural communities. Essential features such as offline mode, visual simplification, and optimized page payload size (< 150 KB) efficiently yielded a fast page-load time (< 2.4 seconds under simulated 3G/Edge network environments). Furthermore, the integration of local content in the form of a black pepper cultivation module proved to significantly increase user engagement and interaction efficiency. In conclusion, this study contributes an empirically validated, functional low-bandwidth interface specification and demonstrates that the UCD approach can generate inclusive technological architectures capable of overcoming rural telecommunications infrastructure constraints.

Keywords: User-Centered Design; Low-Bandwidth; System Usability Scale; Rural Education; Prototype

1. PENDAHULUAN

Transformasi digital dalam sektor pendidikan telah menghadirkan anomali yang signifikan, alih-alih meratakan akses pembelajaran, adopsi teknologi yang masif justru semakin memperlebar kesenjangan digital (*digital divide*) antara wilayah perkotaan dan pedesaan [1]. Platform edukasi modern umumnya dirancang dengan asumsi bahwa pengguna memiliki akses internet berkecepatan tinggi dan perangkat keras berspesifikasi memadai [2]. Akibatnya, teknologi yang seharusnya menjadi jembatan inklusivitas justru bertransformasi menjadi eksklusivitas baru bagi masyarakat yang berada di wilayah dengan keterbatasan infrastruktur.

Fenomena ini sangat terasa di wilayah pedesaan Provinsi Lampung, di mana penetrasi infrastruktur teknologi dan ketersediaan *bandwidth* masih fluktuatif dan terbatas. Berdasarkan observasi lapangan dan karakteristik geografis lokal, banyak institusi pendidikan dan peserta didik di wilayah pedesaan Lampung terpaksa menghadapi realitas koneksi internet yang tidak stabil [3]. Keterbatasan ini membuat berbagai platform *e-learning* arus utama yang beredar saat ini menjadi tidak relevan dan sulit diakses secara optimal oleh pengguna di wilayah tersebut.

Secara spasial, topografi wilayah pedesaan di Lampung didominasi oleh kawasan perbukitan dan agrikultural yang secara inheren menghambat penyebaran sinyal telekomunikasi seluler secara merata [4]. Penyedia layanan infrastruktur jaringan sering kali memusatkan kapasitas *bandwidth* tinggi hanya pada area urban dan koridor jalan utama kabupaten. Dampaknya, wilayah pelosok desa mengalami fenomena ketidakstabilan sinyal kronis, di mana *packet loss* tingkat tinggi dan latensi ekstrem menjadi makanan sehari-hari. Ketika masyarakat mencoba mengakses konten pendidikan yang kaya akan multimedia, kegagalan pemuatan halaman (*request timeout*) sering terjadi, mengisolasi potensi intelektual lokal dari arus digitalisasi global [5].

Terdapat mekanisme sebab-akibat yang jelas antara desain arsitektur perangkat lunak dan tingkat putus akses (*drop-out rate*) digital di pedesaan. Platform pendidikan dengan antarmuka grafis yang berat, memuat banyak aset multimedia, dan membutuhkan sinkronisasi data *real-time* akan mengonsumsi *bandwidth* yang besar [6]. Ketika sistem ini dipaksa beroperasi pada jaringan pedesaan yang lambat, waktu tunggu (*loading time*) menjadi sangat lama, memicu kelelahan kognitif dan frustrasi pengguna, yang pada akhirnya menyebabkan ditinggalkannya platform tersebut oleh peserta didik maupun pendidik [7].

Jika kondisi ini dibiarkan tanpa intervensi rekayasa perangkat lunak yang tepat, ancaman degradasi kualitas pendidikan di daerah pedesaan akan semakin nyata. Peserta didik di pedesaan Lampung berisiko tertinggal secara permanen dalam ekosistem pembelajaran digital, menciptakan ketidaksetaraan sistemik yang akan berdampak panjang pada kualitas sumber daya manusia daerah [8]. Oleh karena itu, urgensi untuk

menghadirkan solusi teknologi yang secara arsitektural adaptif terhadap lingkungan minim sumber daya (*resource-constrained environment*) menjadi sangat kritis dan mendesak.

Sejumlah literatur terdahulu telah berupaya merespons tantangan kesenjangan digital ini melalui pengembangan berbagai sistem informasi pendidikan. Mayoritas penelitian sebelumnya berfokus pada penyediaan perangkat keras, literasi digital dasar, atau sekadar memigrasikan sistem pembelajaran konvensional ke dalam bentuk web [9]. Namun, solusi-solusi tersebut sebagian besar dibangun berdasarkan asumsi lingkungan perkotaan yang kaya sumber daya, sehingga sering kali mengalami kegagalan operasional ketika diimplementasikan pada infrastruktur jaringan yang terbatas.

Beberapa studi empiris mencoba menawarkan solusi dengan mengandalkan kompresi data searah pada sisi *server*. Meskipun teknik ini mampu mereduksi ukuran berkas yang ditransmisikan, ia mengabaikan aspek interaksi di sisi klien (*client-side interaction*). Sistem yang dikembangkan tetap memiliki struktur navigasi yang kompleks dan hierarki informasi yang membingungkan bagi pengguna dengan literasi digital pemula [10], [11]. Tanpa sinkronisasi yang matang antara optimasi jalur transmisi data dan penyederhanaan beban kognitif pada antarmuka pengguna, efisiensi teknis yang dihasilkan pada *back-end* akan menjadi sia-sia saat berhadapan dengan kegagalan operasional pengguna di lapangan.

Secara konseptual, penelitian sebelumnya mengenai kerangka kerja sistem informasi untuk menjembatani kesenjangan digital kerap kali memperlakukan aspek infrastruktur teknologi, kemampuan pengguna, dan *usability* sistem sebagai variabel yang terpisah [12]. Meskipun beberapa studi mulai mengarah pada pentingnya sistem yang ringan (*lightweight*) untuk daerah pedesaan, implementasinya masih sebatas gagasan teoretis konseptual tanpa adanya wujud rekayasa perangkat lunak yang teruji.

Sintesis dari berbagai literatur tersebut mengungkap sebuah *research gap* yang fundamental: minimnya penelitian yang memberikan kebaruan metodologis secara konkret dalam merancang antarmuka sistem di bawah kendala teknis ekstrem [13]. Berdasarkan evaluasi terhadap tren riset saat ini, kerangka kerja yang diajukan sering kali dinilai terlalu konseptual dan belum mampu membuktikan efektivitasnya melalui artefak perangkat lunak yang dievaluasi secara teknis [14]. Diperlukan peralihan fokus dari sekadar rancangan teoritis menuju proses rekayasa perangkat lunak yang berorientasi pada pemecahan masalah *bandwidth* secara presisi.

Kesenjangan riset ini diperparah oleh kecenderungan pengembang platform yang mengadopsi kerangka kerja desain modern berbasis tren estetika urban tanpa melakukan kontekstualisasi wilayah [15]. Sebagai contoh, penggunaan pustaka grafis eksternal yang masif dan ketergantungan pada *framework* JavaScript yang membutuhkan daya komputasi serta *bandwidth* besar saat *rendering*, justru menjadi bumerang di kawasan pedesaan [16]. Riset yang secara khusus mengawinkan pembatasan ukuran muatan data (*data payload*) dengan pemodelan perilaku mental pengguna perdesaan masih sangat langka ditemukan dalam repositori ilmiah domestik.

Untuk menjembatani celah tersebut, pendekatan *User-Centered Design* (UCD) dipilih sebagai metodologi rekayasa antarmuka. Pendekatan UCD ini diterapkan bukan sekadar untuk mengejar estetika visual, melainkan sebagai metodologi intervensi teknis pada lapisan *client-side interaction*. Dalam lingkungan dengan keterbatasan sumber daya (*resource-constrained environment*), kompleksitas navigasi dan beban kognitif pengguna berbanding lurus dengan durasi retensi data pada jaringan. Melalui UCD, model mental, tingkat literasi digital, dan batasan infrastruktur fisik pengguna di pedesaan Lampung dipetakan secara presisi sejak fase awal perancangan [17]. Hal ini memungkinkan arsitektur antarmuka dioptimalkan secara ekstrem seperti penerapan *asset budgeting* berbasis vektor (SVG) dan pembatasan beban *Document Object Model* (DOM) sehingga tata letak elemen antarmuka yang dibangun benar-benar dioptimalkan agar tidak membebani kapasitas jaringan lokal [18].

Bentuk solusi yang ditawarkan dalam penelitian ini adalah rancang bangun prototipe aplikasi edukasi berbasis *low-bandwidth*. Secara arsitektural, prototipe ini direkayasa untuk meminimalkan beban pertukaran data melalui efisiensi elemen visual, memprioritaskan aset berbasis vektor dan teks, serta mereduksi kompleksitas navigasi antarmuka [19]. Pendekatan ini diformulasikan agar aplikasi tetap responsif dan fungsional secara optimal meskipun diakses dari perangkat berspesifikasi rendah dengan sinyal internet yang minim di wilayah pedesaan Lampung.

Adapun batasan sistem dalam penelitian ini difokuskan pada tahap *software engineering* berupa perancangan antarmuka prototipe *high-fidelity* melalui metode UCD, tanpa mencakup implementasi sistem *backend* secara *live* di server. Untuk memastikan kualitas (*Quality Assurance*) dari desain yang telah direkayasa, tahapan pengujian dibatasi pada evaluasi *usability* menggunakan instrumen *System Usability Scale* (SUS) [20]. Penggunaan SUS dipilih untuk mengukur tingkat penerimaan dan efektivitas interaksi pengguna secara empiris, guna membuktikan bahwa desain yang dihasilkan relevan dengan kebutuhan pengguna.

Kontribusi utama dari penelitian ini terletak pada integrasi metodologi UCD dengan strategi teknis *low-bandwidth* untuk menghasilkan artefak rekayasa perangkat lunak yang tervalidasi secara objektif, bukan sebatas konsep teoritis. Penelitian ini tidak hanya memberikan bukti konkret tentang bagaimana sebuah sistem edukasi dapat direkayasa untuk bertahan dalam keterbatasan infrastruktur pedesaan, tetapi juga menawarkan acuan desain praktis yang dapat direplikasi dalam pengembangan rekayasa perangkat lunak inklusif berskala regional.

Berdasarkan pemaparan fenomena, tinjauan literatur, dan urgensi tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang dan membangun prototipe edukasi adaptif berbasis *low-bandwidth* bagi pengguna di pedesaan Lampung menggunakan metode *User-Centered Design*, serta bagaimana tingkat *usability prototipe* tersebut berdasarkan pengujian *System Usability Scale*? Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan prototipe antarmuka aplikasi edukasi yang tervalidasi kelayakannya dan memberikan solusi teknis rekayasa perangkat lunak yang presisi untuk mereduksi kesenjangan digital pendidikan di daerah terpencil.

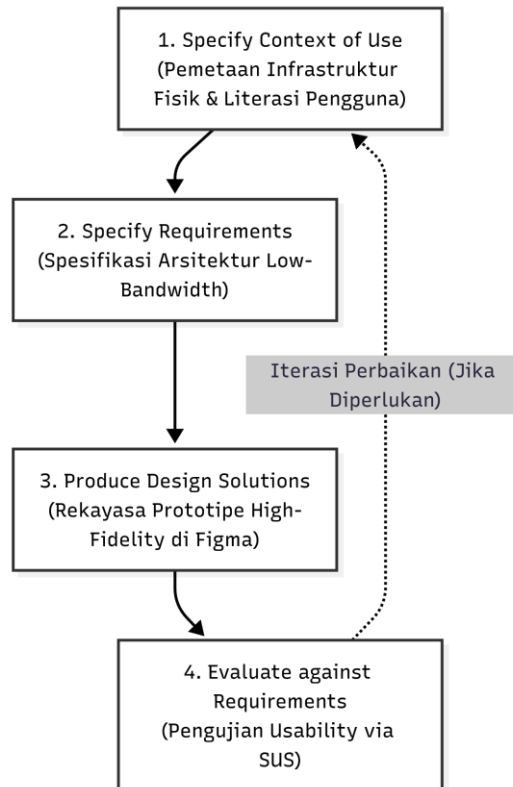
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini melaksanakan rekayasa perangkat lunak melalui pendekatan *User-Centered Design* (UCD) yang dimodifikasi secara khusus untuk lingkungan *low-bandwidth*. Pada tahap pertama, *Specify Context of Use*, dilakukan ekstraksi mendalam terhadap karakteristik pengguna sasaran dan kondisi lingkungan komputasi tempat aplikasi berjalan. Proses ini melibatkan pemetaan profil sosioteknis masyarakat pedesaan Lampung yang mencakup tipe gawai yang dominan digunakan, ketersediaan sisa ruang penyimpanan internal, serta fluktuasi sinyal pada jam-jam sibuk. Data yang diperoleh pada tahap awal ini menjadi landasan utama untuk menentukan skenario pembatasan data yang akan diterapkan pada sistem. Seluruh tahapan berfokus langsung pada optimalisasi arsitektur antarmuka dan efisiensi navigasi sistem.

2.1. Alur Operasional dan Desain Arsitektur Proses operasional

Proses operasional dieksekusi melalui empat tahapan teknis standar ISO 9241-210 yang diintegrasikan dengan kendala teknis *low-bandwidth*. Pada tahap pertama, *Specify Context of Use*, dilakukan dengan memetakan batasan infrastruktur fisik dan literasi digital pengguna di pedesaan Lampung secara observasional. Memasuki tahap kedua, *Specify Requirements*, seluruh temuan dari lapangan dikonversi menjadi spesifikasi kebutuhan fungsional antarmuka yang ketat. Aturan teknis yang ditetapkan meliputi pembatasan total

ukuran muatan halaman (*page payload size*) di bawah 150 KB untuk halaman utama, penghapusan ketergantungan pada pemuatan fon eksternal (*web fonts*), dan kewajiban menyediakan komponen penampung (*placeholder*) berbasis warna solid untuk menggantikan pemuatan gambar yang tertunda. Tahap ketiga, *Produce Design Solutions*, mewujudkan spesifikasi tersebut ke dalam artefak perangkat lunak. Perancangan dimulai dari pembuatan sketsa kasar di atas kertas (*low-fidelity wireframe*) untuk mengeksplorasi susunan tata letak yang paling intuitif. Selanjutnya, rancangan tersebut ditransformasikan ke dalam bentuk cetak biru visual (*high-fidelity UI design*) menggunakan Figma. Untuk memenuhi dan menguji batasan teknis low-bandwidth secara riil, cetak biru visual tersebut kemudian diimplementasikan ke dalam bentuk prototipe kode fungsional sisi klien (*client-side functional prototype*) menggunakan markup HTML5 semantik dan aturan Cascading Style Sheets (CSS) utilitas tanpa melibatkan framework eksternal yang masif. Desain akhir dieksekusi dengan memanfaatkan visualisasi sistem dari Google Stitch guna memastikan transisi layar berjalan mulus dan efisien. Akhirnya, tahap keempat, *Evaluate against Requirements*, bertindak sebagai gerbang validasi akhir untuk menguji apakah seluruh arsitektur antarmuka yang telah dibangun mampu memenuhi ambang batas kegunaan minimum yang telah ditargetkan sejak awal.



Gambar 1. Alur Operasional Desain Sistem

Gambar 1 memperlihatkan alur operasional desain sistem yang ditempuh dalam penelitian ini, yang tersusun atas empat tahap User-Centered Design (UCD) berdasarkan standar ISO 9241-210. Alur diawali dengan Specify Context of Use, yaitu pemetaan kondisi infrastruktur fisik dan tingkat literasi digital pengguna di pedesaan Lampung, kemudian dilanjutkan dengan Specify Requirements, yaitu perumusan spesifikasi arsitektur low-bandwidth yang meliputi pembatasan ukuran muatan halaman di bawah 150 KB, peniadaan fon web eksternal, dan penggunaan placeholder warna solid. Di antara tahap kedua dan ketiga terdapat jalur iterasi perbaikan yang ditempuh apabila hasil perancangan

belum memenuhi kebutuhan. Alur berlanjut ke Produce Design Solutions, yaitu perekayasaan prototipe high-fidelity di Figma yang kemudian diimplementasikan menjadi prototipe kode fungsional berbasis HTML5 semantik dan CSS utilitas, dan diakhiri dengan Evaluate against Requirements, yaitu pengujian usability menggunakan instrumen System Usability Scale (SUS).

2.2. Spesifikasi Lingkungan dan Skenario Pengujian Lapangan Prototipe high-fidelity

Pengujian lingkungan simulasi dilakukan dengan mengeksekusi prototipe kode fungsional HTML5/CSS tersebut pada peramban perangkat mobile, di mana kondisi jaringan internet dikondisikan pada status throttling (simulasi batasan kecepatan 3G/Edge) melalui fitur Network Condition pada Google Chrome DevTools. Hal ini dilakukan untuk mereplikasi secara presisi kondisi *low-bandwidth* aktual di lokasi penelitian. Akuisisi data lapangan melibatkan 20 partisipan yang terdiri dari pendidik dan peserta didik dari pedesaan Lampung. Dalam skenario pengujian, setiap partisipan diberikan *task* skenario terukur, seperti mengakses modul pembelajaran utama, melakukan navigasi antarmuka pada mode lambat, dan mencoba interaksi antarmuka tanpa panduan langsung dari peneliti.

Secara operasional, lembar skenario tugas dirancang sedemikian rupa agar mencerminkan aktivitas harian proses belajar-mengajar. Partisipan diminta menyelesaikan total lima tugas utama secara mandiri. Peneliti memosisikan diri sebagai pengamat pasif yang mencatat waktu penyelesaian tugas (*time-on-task*) serta mencatat setiap indikasi kesalahan navigasi (*usability errors*) yang dilakukan oleh partisipan saat berinteraksi dengan elemen tiruan pada prototipe aplikasi EduDesa tersebut.

2.3. Parameter Evaluasi dan Protokol Data Matriks

Matriks keberhasilan rekayasa antarmuka diukur secara objektif menggunakan instrumen *System Usability Scale* (SUS) yang memuat 10 butir pernyataan standar dengan pilihan jawaban skala Likert 1-5. Parameter keberhasilan didasarkan pada pencapaian skor akhir persentil SUS; di mana skor di atas ambang batas 68 diklasifikasikan sebagai *acceptable* (layak), dan target optimal berada pada rentang kategori *Good* atau *Excellent*.

Protokol pemrosesan data dilakukan melalui tabulasi skala Likert dan kalkulasi formula algoritma SUS baku, di mana untuk pernyataan bernomor ganjil, skor dihitung dari skor pilihan dikurangi 1, sedangkan untuk pernyataan bernomor genap, skor dihitung dari 5 dikurangi skor pilihan. Total nilai dari seluruh butir pernyataan kemudian dikalikan dengan 2,5 untuk menghasilkan skor akhir per individu dalam rentang 0-100. Etika penelitian ditegakkan melalui *informed consent* tertulis sebelum skenario pengujian dimulai serta anonimisasi identitas seluruh partisipan dalam laporan data mentah.

2.4. Ancaman Validitas dan Mitigasinya

Potensi ancaman terhadap validitas penelitian (*threats to validity*) bersumber dari subjektivitas penilaian dengan ukuran sampel 20 pengguna. Untuk memitigasi anomali data, penelitian ini memberlakukan standardisasi skenario tugas yang ketat, mengunci variabel kecepatan jaringan secara statis untuk seluruh penguji, serta bergantung pada metrik kalkulasi matematis SUS. Mitigasi ini memastikan bahwa evaluasi murni mencerminkan kualitas rekayasa *usability* perangkat lunak, bukan sekadar opini acak dari partisipan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

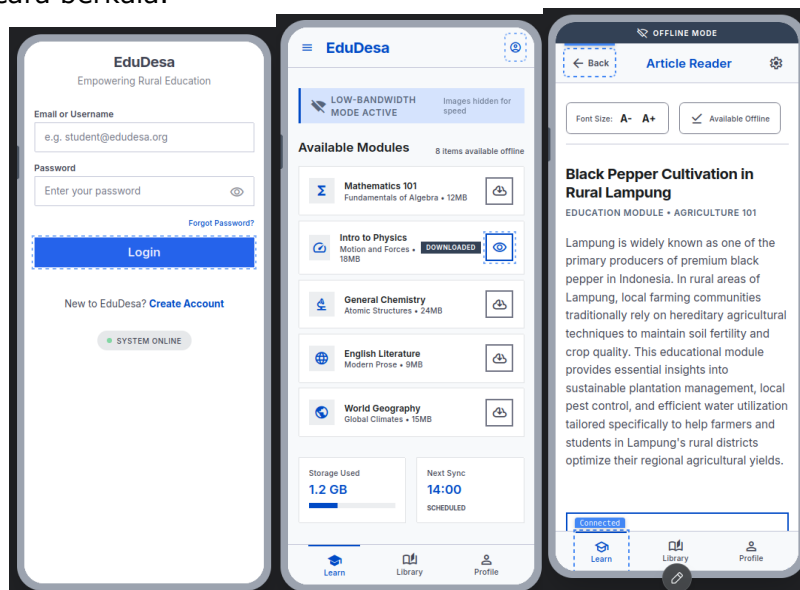
Rekayasa perangkat lunak yang berfokus pada efisiensi *bandwidth* dan kemudahan pengguna di pedesaan menghasilkan temuan yang dievaluasi secara kuantitatif dan

dianalisis secara arsitektural. Rangkaian hasil disajikan secara objektif, dilanjutkan dengan pembahasan teknis terhadap metrik yang dicapai.

3.1. Hasil Rekayasa dan Evaluasi Usability

Implementasi rancang bangun antarmuka (*User Interface*) menghasilkan prototipe *high-fidelity* yang memprioritaskan aset berbasis vektor (SVG), penggunaan tipografi bawaan sistem (*system fonts*), serta penghapusan elemen animasi dinamis yang memicu konsumsi data tersembunyi. Hasil observasi teknis menunjukkan bahwa arsitektur antarmuka ini mampu memuat halaman utama (*loading time*) secara optimal dalam waktu kurang dari 2,4 detik pada simulasi jaringan 3G/Edge. Tata letak elemen direkayasa menjadi sangat minimalis, di mana tombol navigasi diukur minimal 48x48 piksel agar sesuai dengan interaksi sentuhan dasar, dan fitur unduh luring (*offline*) ditempatkan sebagai hierarki fungsional tertinggi di layar utama.

Secara visual, tata warna aplikasi EduDesa dikonfigurasi menggunakan kontras tinggi dengan dominasi warna monokromatik untuk memastikan keterbacaan teks yang optimal di bawah terik matahari mengingat karakteristik pengguna rural yang sering kali mengakses gawai di luar ruangan. Menu navigasi dirancang menggunakan pola linier guna memangkas jalur penjelajahan halaman yang berbelit-belit. Fitur sinkronisasi data luring dilengkapi dengan indikator visual berukuran mikro yang memberikan kepastian status unduhan kepada pengguna tanpa perlu memakan lalu lintas data tambahan untuk memuat ulang layar secara berkala.



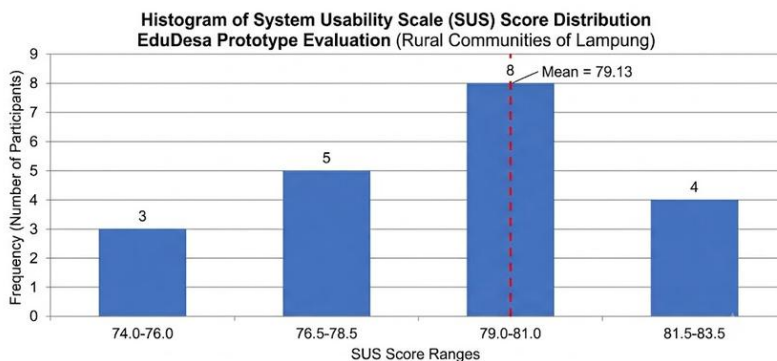
Gambar 2. Antarmuka Prototipe

Gambar 2 menampilkan tiga tangkapan layar antarmuka prototipe EduDesa. Tampilan pertama adalah halaman login yang memuat kolom Email or Username dan Password, tombol Login, tautan Create Account, serta indikator status SYSTEM ONLINE. Tampilan kedua adalah halaman daftar modul dengan banner LOW-BANDWIDTH MODE ACTIVE dan keterangan Images hidden for speed; pada halaman ini ditampilkan lima modul — Mathematics 101, Intro to Physics yang berstatus DOWNLOADED, General Chemistry, English Literature, dan World Geography — masing-masing dilengkapi ukuran berkas dan tombol unduh, disertai keterangan 8 items available offline, panel penggunaan penyimpanan sebesar 1,2 GB, jadwal sinkronisasi berikutnya pukul 14:00, serta navigasi bawah Learn, Library, dan Profile. Tampilan ketiga adalah halaman Article Reader dalam mode luring (OFFLINE MODE) yang memuat modul konten lokal Black Pepper Cultivation in Rural Lampung (Agriculture 101), dilengkapi pengatur ukuran fon (A-/A+) dan label Available Offline.

Evaluasi metrik keberhasilan diukur pascapengujian simulasi oleh 20 partisipan dari lingkungan pendidikan pedesaan. Berdasarkan ekstraksi data pengujian, kalkulasi skor rata-rata *System Usability Scale* (SUS) mencapai angka 79.13. Secara hierarkis, metrik ini memposisikan prototipe ke dalam kategori kualitas *Good* hingga *Excellent*. Fakta objektif dari distribusi data menunjukkan rentang nilai yang sangat rapat, yaitu antara nilai minimum 75 dan nilai maksimum 83.

Tabel 1. Tabulasi Skor System Usability Scale (SUS) Pengguna

Partisipan	Skor Evaluasi	Partisipan	Skor Evaluasi
P1	75,0	P11	80,0
P2	80,0	P12	80,0
P3	77,5	P13	77,5
P4	82,5	P14	82,5
P5	75,0	P15	75,0
P6	80	P16	80,0
P7	80	P17	80,0
P8	77,5	P18	77,5
P9	82,5	P19	80,0
P10	77,5	P20	82,5
Rerata	79,13		



Gambar 3. Histogram Distribusi Skor SUS

Gambar 3 menyajikan histogram distribusi skor System Usability Scale (SUS) dari 20 partisipan. Distribusi skor terkonsentrasi pada rentang atas: frekuensi tertinggi berada pada rentang 79,0–81,0 dengan 8 partisipan, diikuti rentang 76,5–78,5 dengan 5 partisipan, rentang 81,5–83,5 dengan 4 partisipan, dan rentang 74,0–76,0 dengan 3 partisipan. Garis putus-putus berwarna merah pada histogram menandai nilai rerata keseluruhan sebesar 79,13. Pola distribusi ini menunjukkan bahwa tidak ada satu pun skor partisipan yang berada di bawah ambang batas kelayakan SUS sebesar 68.

Dari tabulasi data aktual pada Tabel 1, ditemukan sebuah anomali positif; meskipun sebagian pengguna memiliki tingkat literasi digital yang rendah, tidak ada satu pun skor individu yang jatuh di bawah ambang batas minimum kelayakan sistem (skor 68). Data ini membuktikan bahwa batas terendah dari kemampuan adaptasi pengguna (P1, P5, dan P15 dengan skor 75,0) masih berada pada kategori layak guna, yang berarti hambatan teknis akibat infrastruktur berhasil diredam secara operasional pada level antarmuka pengguna.

3.2. Pembahasan Arsitektur dan Skalabilitas Solusi

Pencapaian skor SUS pada kategori *Excellent* bukanlah sekadar refleksi persepsi pengguna yang subjektif, melainkan produk kausalitas langsung dari arsitektur *low-bandwidth* yang diterapkan. Pemangkasan kompleksitas *Document Object Model* (DOM) dan penggunaan elemen visual yang tidak memicu proses *rendering* berat secara langsung

mengurangi beban kognitif pengguna. Secara teknis, efisiensi ini merepresentasikan prinsip rekayasa *frontend* modern, di mana pemanfaatan *markup* HTML5 semantik dan struktur *Cascading Style Sheets* (CSS) yang terutilisasi dengan baik mampu menciptakan tata letak yang sangat reaktif dan ringan tanpa membebani memori perangkat berspesifikasi rendah. Dengan mengeliminasi pemanggilan *framework* CSS pihak ketiga yang membengkak (*bloated*) dan menggantinya dengan aturan penulisan *style* utilitas yang ringkas serta efisien, struktur kode prototipe ini berhasil mereduksi beban *parsing* mesin peramban secara drastis

Dengan mengeliminasi pemanggilan *framework* CSS pihak ketiga yang membengkak (*bloated*) dan menggantinya dengan aturan penulisan *style* utilitas yang ringkas serta efisien, struktur kode prototipe ini berhasil mereduksi beban *parsing* mesin peramban secara drastis. Setiap komponen antarmuka yang dirancang menggunakan pendekatan modular, sehingga ketika diimplementasikan ke dalam kode riil, ia tidak memicu proses *reflow* atau *repaint* tata letak yang berulang-ulang pada layar gawai. Optimalisasi pada level mikro inilah yang memberikan efek transisi yang terasa sangat responsif, memberikan ilusi performa berkecepatan tinggi meskipun sirkulasi data internet yang mengalir di belakangnya berjalan sangat lambat.

Korelasi teknis ini membantah literatur dan pandangan evaluatif sebelumnya yang kerap mengasumsikan bahwa kendala *usability* di daerah terpencil semata-mata disebabkan oleh lemahnya kemampuan SDM. Hasil penelitian ini menempatkan posisi baru bahwa intervensi rekayasa perangkat lunak melalui desain yang berpusat pada keterbatasan infrastruktur mampu memaksa sistem menjadi ramah pengguna (*user-friendly*) terlepas dari tingkat literasi digital partisipan. Pembaruan konsep teoritis (*theoretical contribution*) yang ditawarkan adalah bahwa *User-Centered Design* tidak hanya memodelkan psikologi pengguna, tetapi juga dapat diperluas sebagai protokol wajib untuk manajemen *bandwidth* di lingkungan dengan sumber daya ekstrem (*resource-constrained environments*).

Secara akademis, temuan ini memperluas cakupan batas teori UCD tradisional yang selama ini lebih banyak mendalami aspek kepuasan visual dan kemudahan navigasi pada ekosistem industri komersial yang ideal. Penelitian ini membuktikan bahwa faktor pembatas infrastruktur (*infrastructural constraints*) dapat diperlakukan sebagai variabel desain utama yang berkedudukan setara dengan kebutuhan fungsional pengguna itu sendiri. Konvergensi antara pembatasan kapasitas data dan pemetaan arsitektur kognitif pengguna rural memunculkan sebuah paradigma baru dalam rekayasa perangkat lunak inklusif, yakni *Infrastructural-Aware Design*.

Implikasi praktis dari perancangan arsitektur ini memastikan bahwa prototipe memiliki tingkat skalabilitas yang sangat tinggi. Sistem dapat diadopsi, direplikasi, dan dikonversi ke dalam lingkungan pengembangan *web-based* maupun aplikasi hibrida (*hybrid*) oleh institusi pendidikan di wilayah pedesaan dengan modifikasi perangkat lunak yang minimal. Pengalaman interaksi yang konsisten pada simulasi jaringan lambat membuktikan bahwa sistem ini secara operasional siap menjembatani kesenjangan akses konten pendidikan.

Kendati memberikan kontribusi pemecahan masalah teknis, penelitian ini tidak lepas dari sejumlah keterbatasan observasi. Valuasi kelayakan saat ini masih bergantung pada skala perseptual dari basis sampel yang terbatas, serta belum mengukur kinerja metrik teknis sisi server (*backend latency*) pada lingkungan produksi aktual (*live server*). Oleh karena itu, diperlukan kewaspadaan dalam menggeneralisasi temuan ini secara masif sebelum dilakukan integrasi *database* secara langsung di lapangan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang dan membangun sebuah prototipe aplikasi edukasi adaptif khusus untuk lingkungan dengan keterbatasan koneksi jaringan (*low-bandwidth*) di pedesaan Lampung dengan menerapkan metodologi *User-Centered Design* (UCD). Berdasarkan hasil evaluasi kuantitatif menggunakan instrumen *System Usability Scale* (SUS) yang melibatkan 20 partisipan lokal, platform ini sukses memperoleh skor rata-rata sebesar 79,13 yang mengindikasikan tingkat akseptabilitas kuat pada kategori *Good* menuju *Excellent*. Hasil empiris ini membuktikan secara nyata bahwa pendekatan desain yang berpusat pada karakteristik serta hambatan riil pengguna di lapangan—seperti penyediaan fitur *offline mode*, fleksibilitas penyesuaian ukuran teks, dan simplifikasi elemen visual melalui optimasi kode fungsional sisi klien—mampu meminimalisasi baris hambatan teknis secara signifikan sekaligus meningkatkan intensitas adopsi teknologi edukasi. Implementasi konten lokal yang sangat spesifik, seperti modul edukasi budidaya lada hitam di Lampung, juga terbukti memperkuat keterikatan emosional dan relevansi fungsional bagi masyarakat sasaran, sehingga platform ini siap direkomendasikan sebagai model arsitektur sistem pembelajaran inklusif di wilayah rural.

Meskipun menunjukkan hasil yang sangat positif, penelitian ini masih memiliki keterbatasan objektif, terutama pada cakupan ukuran sampel pengujian yang terbatas serta fokus evaluasi yang baru menyentuh aspek kebergunaan (*usability*) pada prototipe fungsional sisi klien (*front-end engineering*). Oleh karena itu, arah pengembangan dan penelitian di masa depan sangat direkomendasikan untuk memperluas diversifikasi demografi subjek uji guna memperoleh tingkat generalisasi data yang lebih komprehensif pada skala regional yang lebih luas. Selain itu, tahapan riset selanjutnya perlu diarahkan pada fase *backend engineering* secara penuh, yang melibatkan integrasi basis data pada *live server* di lapangan untuk mengukur metrik performa teknis secara riil, seperti efisiensi sinkronisasi data luring serta pengelolaan latensi jaringan (*network latency*) di tengah infrastruktur telekomunikasi pedesaan yang fluktuatif.

PERNYATAAN KONTRIBUSI PENULIS (CREDIT)

Dita Novita Sari: Penulisan – draf awal, Analisis formal, Kurasi data, Konseptualisasi.
Ricco Herdiyan Saputra: Penulisan – peninjauan dan penyuntingan, Penulisan – draf awal, Validasi, Perangkat lunak, Metodologi, Konseptualisasi.

PERNYATAAN KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak terdapat kepentingan finansial atau hubungan pribadi yang diketahui yang dapat memengaruhi hasil penelitian yang dilaporkan dalam artikel ini.

PERNYATAAN PENDANAAN

Penulis tidak menerima dukungan finansial untuk penelitian, kepenulisan, dan/atau publikasi artikel ini.

PERNYATAAN PENGGUNAAN AI GENERATIF DAN TEKNOLOGI BERBANTUAN AI DALAM PROSES PENULISAN

Para penulis menggunakan teknologi AI generatif dan teknologi berbantuan AI untuk membantu meningkatkan kejelasan penulisan artikel ini. Seluruh konten yang dibantu oleh

AI telah ditinjau dan disunting oleh penulis, dan para penulis bertanggung jawab sepenuhnya atas isi akhir yang dipublikasikan.

REFERENCES

- [1] E. Prihatin, D. Kadarsah, and R. D. IZFS, *Kebijakan Pendidikan Nasional: Transformasi Digital untuk Sistem yang Inklusif*. Indonesia Emas Group, 2025.
- [2] S. Paling et al., *Media pembelajaran digital*. Tohar Media, 2024.
- [3] M. A. Kurniawan, "EVALUASI ALIH KELOLA KEWENANGAN PENDIDIKAN MENENGAH DARI PEMERINTAH KABUPATEN PESISIR BARAT KEPADA PEMERINTAH PROVINSI LAMPUNG: Studi Aspek Pemberdayaan Guru di Daerah Terdepan, Terluar, Tertinggal, SMAN 1 Bangkunat Belimbing tahun 2017-2021," 2022.
- [4] R. Winengsih Sri, "HUBUNGAN ANTARA PEMANFAATAN INTERNET DAN PEMENUHAN INFORMASI PERTANIAN OLEH PETANI KOPI DI DESA GIHAM KECAMATAN SEKINCAU KABUPATEN LAMPUNG BARAT," 2025.
- [5] I. K. M. Lestyaningrum, A. Trisiana, D. A. Safitri, A. Y. Pratama, and T. P. Wahana, *Pendidikan global berbasis teknologi digital di era milenial*. Unisri Press, 2022.
- [6] M. Turmudzi, A. Wibowo, M. R. Mufid, D. Aditama, and M. Chafid, *Jaringan Multimedia Menguasai Ekosistem Multimedia Produksi Konten, Distribusi Jaringan, dan Aplikasi Industri*. CV. Penerbit Ilmu Literasi dan Riset (Pilar), 2025.
- [7] A. P. Akmad and A. V. L. Abatayo, "Caught in the Slow Lane: Effects of Unstable Internet Connectivity on Accessing Academic Resources and Collaborative Learning," *Journal of Interdisciplinary Perspectives*, vol. 2, no. 9, pp. 278–286, 2024, doi: 10.69569/jip.2024.0370.
- [8] C. Wang, M. Zhang, A. Sesunan, and L. Yolanda, "Peran teknologi dalam transformasi pendidikan di Indonesia," *Kemdikbud*, vol. 4, no. 2, pp. 1–7, 2023.
- [9] F. Safitri, R. Ramlah, W. Sandy, and A. C. Siregar, *Literasi digital dalam dunia pendidikan*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2025.
- [10] M. el-Khaeri Kesuma and R. H. Saputra, "Design Thinking UI/UX: Teori dan Praktik," *Penerbit Mifandi Mandiri Digital*, vol. 1, no. 01, 2024.
- [11] R. H. Saputra and W. Waziana, "EVALUATION OF THE USABILITY AND USER EXPERIENCE (UX) OF THE EDLINK PLATFORM IN SUPPORTING DISTANCE LEARNING AT THE BAKTI NUSANTARA INSTITUTE," *Asia Information System Journal*, vol. 5, no. 01, pp. 01–11, 2026.
- [12] M. N. Winnarto et al., *Pengembangan Sistem Informasi Modern: Desain, Implementasi, Infrastruktur, dan Analitik Data*. PT Bukuloka Literasi Bangsa, 2026.
- [13] M. J. Robbani, "PENERAPAN METODE DESIGN THINKING PADA PEMODELAN ANTARMUKA PENGGUNA DAN ADMIN PADA SISTEM INFORMASI AKADEMIK RA. AMANAH SCHOOL (SIAAS)," 2024.
- [14] S. Maro, A. Kondoro, B. Haßler, J. Mtebe, and J. Proctor, "Deployment of Offline Learning Management Systems: Comparing the Performance of Selected Micro-Servers in Tanzania," *Journal of Learning for Development*, vol. 10, no. 2, pp. 280–296, Jul. 2023, doi: 10.56059/jl4d.v10i2.835.
- [15] S. Zulfikar, "Smart Health Promotion: Era Globalisasi Dan Transformasi Digital," *AMU Press*, pp. 1–243, 2025.
- [16] R. RAHMAT, "RANCANG BANGUN WEBSITE VISUALISASI DATA HUTAN BAKAU UNTUK OPTIMALISASI PENDATAAN HUTAN BAKAU PETANGORAN DENGAN METODE RAD," 2024.
- [17] I. Kurniawan, *Teknologi Informasi Bidang Kedokteran*. PT Ghani Press Group, 2026.
- [18] M. T. Yelcha, "PERANCANGAN UI/UX SISTEM INFORMASI WISATA LAMPUNG BERBASIS MOBILE MENGGUNAKAN METODE USER CENTERED DESIGN (UCD)," 2025.



- [19] F. A. Ibrahaical, "IMPLEMENTASI THREE. JS DAN WEBXR DALAM PENGEMBANGAN APLIKASI VIRTUAL REALITY (VR) UNTUK PENGENALAN PERANGKAT KERAS KOMPUTER," 2026.
- [20] R. H. Saputra and M. E.-K. Kesuma, "DESIGN AND USABILITY EVALUATION OF A MOBILE TOURISM APPLICATION BASED ON USER-CENTERED DESIGN APPROACH," *AL ULUM: JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI*, vol. 12, no. 1, pp. 33–41, 2026.

