



Sistem Informasi Manajemen Energi untuk Meningkatkan Efisiensi dan Ketepatan Pengelolaan Konsumsi Energi di Bandara

Yudriqul Aulia*, Daniel Arsa, Yogi Perdana

Fakultas Sains Dan Teknologi, Program Studi Informasi, Universitas Jambi, Jambi

Jl. Raya Jambi Muara Bulian Km 15, Desa Mandalo Darat, Kec. Jambi Luar Kota, Kab. Muaro Jambi, Jambi, Indonesia

Email: ^{1,*}yudriqul20803@gmail.com, ²danielarsa@unja.ac.id, ³yogi.perdana@unja.ac.id

Email Penulis Korespondensi: yudriqul20803@gmail.com

Submitted: 27/02/2026; Accepted: 30/04/2026; Published: 30/04/2026

Abstrak—Pencatatan konsumsi energi (listrik, air, dan BBM) di Bandara Sultan Thaha Jambi saat ini masih bergantung pada pencatatan menggunakan spreadsheet. Proses ini rentan terhadap kesalahan manusia, fragmentasi data, dan menghambat analisis efisiensi energi yang krusial bagi operasional bandara. Kebutuhan akan akurasi data ini menjadi semakin krusial seiring dengan langkah pemerintah dalam memperketat efisiensi anggaran negara dan mendorong transformasi digital pada infrastruktur publik. Guna mendukung kebijakan penghematan energi dan optimalisasi biaya operasional tersebut, diperlukan sistem pemantauan yang lebih transparan dan terintegrasi. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan Sistem Informasi Manajemen Energi berbasis web untuk menjawab tantangan tersebut. Menggunakan metode pengembangan Waterfall, sistem dibangun dengan arsitektur modern yang memanfaatkan React.js untuk antarmuka responsif, Express.js sebagai backend, dan PostgreSQL untuk manajemen basis data yang skalebel. Hasil pengujian Black Box menunjukkan sistem berjalan valid dan berhasil menyediakan solusi terpadu melalui fitur Dashboard Monitoring, Validasi Input Digital, serta pelaporan data yang terpusat. Implementasi sistem ini mentransformasi tata kelola energi dari manual menjadi digital-terintegrasi, sekaligus memberikan fondasi kuat bagi manajemen bandara dalam mengambil keputusan strategis yang selaras dengan program efisiensi anggaran dan keberlanjutan energi nasional.

Kata Kunci: Sistem Informasi; Manajemen Energi; Transformasi Digital; Waterfall; React.js

Abstract—Energy consumption recording (electricity, water, and fuel) at Sultan Thaha Airport Jambi currently relies on manual methods using spreadsheets. This process is prone to human error, data fragmentation, and hinders crucial energy efficiency analysis for airport operations. The need for data accuracy is becoming increasingly vital in line with the government's initiatives to tighten budget efficiency and drive digital transformation in public infrastructure. To support energy conservation policies and optimize operational costs, a more transparent and integrated monitoring system is required. This research aims to design and implement a web-based Energy Management Information System to address these challenges. Using the Waterfall development method, the system is built with a modern architecture utilizing React.js for a responsive interface, Express.js as the backend, and PostgreSQL for a scalable database management. Black Box testing results indicate that the system is valid and successfully provides an integrated solution through Dashboard Monitoring, Digital Input Validation, and centralized data reporting. The implementation of this system transforms energy governance from manual to digitally integrated, providing a solid foundation for airport management in making strategic decisions aligned with national budget efficiency and energy sustainability programs.

Keywords: Energy Management Information System; Budget Efficiency; Digital Transformation; Waterfall, React.js; Dashboard Monitoring.

1. PENDAHULUAN

Bandar udara merupakan simpul strategis dalam sistem transportasi global yang berperan sebagai gerbang utama konektivitas nasional dan internasional, sekaligus representasi kualitas pelayanan publik suatu negara. Operasional bandar udara dituntut untuk selalu andal, aman, dan berkelanjutan tanpa toleransi terhadap gangguan, mengingat satu kegagalan operasional saja dapat berdampak luas terhadap mobilitas penumpang, distribusi logistik, serta stabilitas ekonomi regional dan nasional [1], [2]. Oleh karena itu, keberlangsungan operasional bandara selama 24 jam sehari menjadi prasyarat mutlak dalam menjamin kualitas layanan dan keselamatan penerbangan. Keberlanjutan operasional bandara sangat bergantung pada ketersediaan dan pengelolaan energi dalam skala besar. Terminal bandara dikategorikan sebagai salah satu bangunan komersial paling kompleks dan intensif energi karena beroperasi tanpa henti, melayani fluktuasi penumpang yang tinggi, serta mengintegrasikan berbagai sistem kritis secara simultan [3], [4]. Penelitian menunjukkan bahwa konsumsi energi tahunan sebuah bandara internasional besar dapat setara dengan konsumsi energi sebuah kota kecil atau puluhan ribu rumah tangga, menjadikan bandara sebagai entitas dengan tantangan manajemen energi yang signifikan [5].

Energi yang dikonsumsi bandar udara menopang berbagai sistem vital, seperti navigasi penerbangan, penerangan landasan pacu, sistem keamanan, pengolahan bagasi, serta fasilitas kenyamanan penumpang. Di antara seluruh subsistem tersebut, sistem pemanas, ventilasi, dan pendingin udara (Heating, Ventilation, and Air Conditioning/HVAC) secara konsisten dilaporkan sebagai kontributor terbesar konsumsi energi listrik di terminal bandara. Studi empiris menunjukkan bahwa sistem HVAC dapat menyumbang antara 50% hingga 70% dari total konsumsi energi listrik terminal, terutama di wilayah dengan beban pendinginan tinggi dan kondisi iklim tropis [6], [7].

Kompleksitas konsumsi energi HVAC semakin meningkat akibat pengaruh faktor eksternal seperti kondisi meteorologi, variasi okupansi penumpang, serta dinamika jadwal penerbangan yang tidak konstan. Hal ini



menyebabkan pola konsumsi energi bandara bersifat non-linear dan dinamis, sehingga sulit dianalisis secara akurat tanpa dukungan sistem pemantauan dan analisis berbasis data [5], [8]. Literatur menegaskan bahwa pendekatan konvensional berbasis pencatatan manual tidak lagi memadai untuk menangani kompleksitas tersebut, terutama pada fasilitas berskala besar seperti bandara.

Di Indonesia, urgensi pengelolaan dan efisiensi energi telah ditegaskan melalui Instruksi Presiden Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2025 tentang Efisiensi Belanja dalam Pelaksanaan APBN dan APBD, yang mendorong optimalisasi penggunaan sumber daya melalui tata kelola berbasis data. Namun demikian, implementasi kebijakan tersebut di tingkat operasional masih menghadapi berbagai kendala. Di Bandara Sultan Thaha Jambi, pencatatan konsumsi energi seperti listrik, air, dan bahan bakar minyak (BBM) hingga saat ini masih dilakukan secara manual menggunakan perangkat lunak spreadsheet, dengan data bersumber dari pencatatan fisik teknisi di lapangan [9]. Metode pencatatan manual tersebut memiliki sejumlah kelemahan mendasar, antara lain tingginya potensi kesalahan manusia (human error), keterbatasan dalam pengelolaan data historis berskala besar, serta risiko kehilangan dan inkonsistensi data. Tanpa sistem pemantauan energi yang terintegrasi dan otomatis, pengelola bandara akan kesulitan mengidentifikasi pola konsumsi energi, mendeteksi anomali secara real-time, serta melakukan analisis tren dan proyeksi kebutuhan energi secara akurat [1], [8]. Akibatnya, data konsumsi energi yang tersedia belum dapat dimanfaatkan secara optimal sebagai dasar pengambilan keputusan strategis.

Berbagai penelitian mutakhir menunjukkan bahwa penerapan sistem manajemen energi berbasis digital dan komputasi canggih seperti IoT, AI, dan pemodelan data historis secara signifikan dapat meningkatkan akurasi prediksi konsumsi energi serta efisiensi operasional dalam fasilitas berskala besar. Penelitian review teknologi BEMS menunjukkan bahwa integrasi sensor pintar dan analitik data mampu menghasilkan model pemantauan dan prediksi konsumsi energi yang responsif terhadap kondisi nyata operasional HVAC dan sistem energi lainnya, sehingga berkontribusi pada penghematan energi yang berarti dan optimalisasi biaya operasional fasilitas [10]. Implementasi EnMS berbasis ISO 50001 juga memperlihatkan bahwa struktur manajemen energi yang sistematis mampu menurunkan konsumsi energi dan emisi CO₂ melalui siklus Plan-Do-Check-Act yang terstandarisasi, sekaligus meningkatkan kemampuan pemantauan dan kontrol energi [11]. Lebih lanjut, tinjauan literatur terkini menegaskan bahwa EMS yang memanfaatkan IoT dan AI tidak hanya mengoptimalkan penggunaan energi dan biaya, tetapi juga memainkan peran strategis dalam mendorong keberlanjutan operasional dan pencapaian target netralitas karbon organisasi [12]. Permasalahan tersebut, penelitian ini berfokus pada pengembangan dan implementasi platform sistem informasi manajemen energi berbasis web di Bandara Sultan Thaha Jambi. Sistem ini dirancang untuk menyediakan basis data terpusat, modul pemantauan konsumsi energi, serta fitur analisis data historis guna mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat dan berbasis data. Pendekatan ini sejalan dengan praktik manajemen energi modern yang telah terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi energi pada fasilitas berskala besar, khususnya pada infrastruktur transportasi udara [4], [13].

Menjawab kendala pencatatan manual yang ada, penelitian ini bertujuan membangun platform sistem informasi manajemen energi berbasis web di Bandara Sultan Thaha Jambi. Sistem ini dikembangkan untuk mendigitalisasi seluruh data pemakaian utilitas seperti listrik, air, dan bahan bakar ke dalam satu basis data yang terpusat. Selain meminimalkan risiko kesalahan input, digitalisasi ini memungkinkan sistem untuk menjalankan fungsi pemantauan dan analisis yang lebih tajam. Salah satunya melalui fitur komparasi yang membandingkan konsumsi energi berdasarkan jenis hari, misalnya antara hari kerja (workdays) dan hari libur (holidays). Kemampuan analisis ini dirancang untuk membantu pihak pengelola memetakan tren operasional dan melacak anomali penggunaan energi dengan jauh lebih mudah dan akurat.

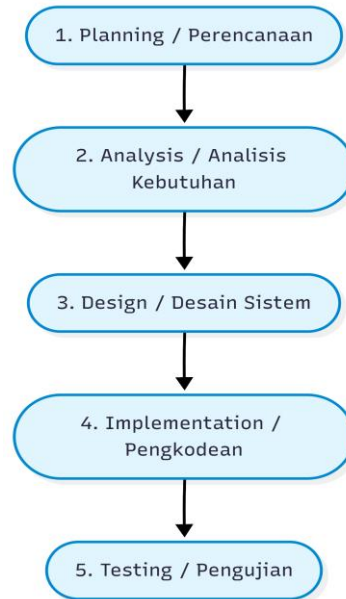
Lebih dari sekadar solusi teknis, kehadiran platform ini diharapkan memberikan dampak langsung bagi pihak manajemen bandara dalam mengambil keputusan terkait efisiensi operasional. Hal ini sekaligus menjadi wujud dukungan nyata terhadap amanat tata kelola sumber daya berbasis data yang dicanangkan dalam Inpres RI Nomor 1 Tahun 2025. Di samping manfaat praktis tersebut, penelitian ini juga menyajikan studi kasus empiris mengenai proses transisi arsitektur pencatatan konvensional menuju sistem informasi modern pada infrastruktur kritis. Melalui pengembangan ini, tergambar dengan jelas bagaimana analisis dinamika operasional harian dapat diintegrasikan ke dalam sebuah sistem web untuk mengoptimalkan pengelolaan energi di fasilitas berskala besar.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini mengadopsi metode pengembangan sistem Waterfall, yang merupakan salah satu model dalam Software Development Life Cycle (SDLC) yang paling banyak digunakan dalam rekayasa perangkat lunak karena pendekatannya yang sekuensial dan terstruktur. Model ini memecah proses pengembangan menjadi fase-fase yang jelas dan berurutan seperti analisis kebutuhan, desain, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan, di mana setiap tahapan harus diselesaikan sepenuhnya sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya untuk menjamin kualitas produk dan integritas dokumen pengembangan. Penelitian simulasi terhadap Waterfall mengkonfirmasi karakteristik linear-sequencial yang menjadi ciri utama model ini serta penggunaan output dari satu fase sebagai input untuk fase berikutnya dalam SDLC [14]. Studi penerapan model Waterfall dalam pengembangan aplikasi inventaris juga menegaskan bahwa Waterfall menyediakan alur kerja yang sistematis dan terdokumentasi, meningkatkan

keteraturan proses pembangunan sistem [15]. Lebih lanjut, evaluasi literatur menunjukkan bahwa pendekatan Waterfall memberikan struktur pengembangan yang jelas dan konsisten dibandingkan dengan metodologi lain seperti Agile, khususnya ketika kebutuhan sistem sudah terdefinisi sejak awal [16]



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Pada **Gambar 1** merupakan model Waterfall yang mencakup rangkaian fase yang terdiri dari analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi kode, pengujian, hingga pemeliharaan (maintenance).[17] Pendekatan ini bertujuan untuk menciptakan prosedur pengembangan yang metodis dan efektif dalam menghasilkan perangkat lunak yang fungsional serta sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan sejak awal.[18], model Waterfall sangat sesuai untuk proyek dengan kebutuhan yang relatif stabil dan tidak mengalami perubahan signifikan selama siklus pengembangan. Mengingat kebutuhan sistem informasi manajemen energi di Bandara Sultan Thaha Jambi telah terdefinisi dengan jelas berdasarkan regulasi dan proses operasional yang ada, model Waterfall dinilai tepat untuk digunakan dalam penelitian ini.

a. Analisis Kebutuhan (Requirement Analysis)

Tahap analisis kebutuhan merupakan fase awal krusial dalam Software Development Life Cycle (SDLC) yang bertujuan mengidentifikasi dan mengevaluasi semua kebutuhan pengguna serta sistem secara menyeluruh melalui metode elicitation seperti observasi langsung, wawancara dengan teknisi dan pengelola energi, dan kajian dokumen operasional yang relevan. Analisis yang dilakukan mencakup identifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional, yang kemudian dirumuskan menjadi spesifikasi kebutuhan sistem untuk memastikan bahwa fungsi utama, batasan sistem, dan entitas data (termasuk kebutuhan energi) telah terdefinisi secara lengkap dan akurat sebelum masuk ke fase desain (Requirements Engineering sebagai fundamental SDLC). Penelitian literatur menegaskan bahwa fase ini merupakan pondasi penting yang menentukan arah dan kualitas seluruh siklus pengembangan perangkat lunak dan bahwa pemahaman yang tepat terhadap kebutuhan pengguna sangat penting untuk menghasilkan perangkat lunak yang sesuai ekspektasi stakeholder serta bahwa identifikasi dan verifikasi baik kebutuhan fungsional maupun non-fungsional merupakan kunci dalam merancang sistem yang efektif dan dapat diimplementasikan. [19], [20]

b. Perancangan Sistem (System Design)

Tahap perancangan sistem mencakup penyusunan struktur dan arsitektur perangkat lunak, perancangan basis data, pemodelan alur proses, serta desain antarmuka pengguna sebagai dasar untuk pengembangan selanjutnya. Pada fase ini, arsitektur sistem digambarkan secara keseluruhan agar komponen perangkat lunak dapat terintegrasi dengan baik, diagram alur proses disusun dengan notasi seperti UML untuk memvisualisasikan interaksi antar modul dan aliran data, basis data dirancang untuk mencerminkan kebutuhan data sistem secara logis dan fisik, dan antarmuka pengguna dirancang untuk memastikan interaksi yang intuitif serta efisien [21]. Selain itu, penggunaan pemodelan seperti Use Case, Activity, dan Class Diagram pada fase ini membantu merinci fungsionalitas dan struktur data sistem sehingga menjadi pedoman dalam implementasi dan pengujian [22]. Desain basis data yang matang juga merupakan bagian krusial dalam perancangan sistem karena berpengaruh langsung terhadap performa serta konsistensi data saat sistem berjalan [23]

c. Implementasi (Implementation)

Pada tahap implementasi, desain sistem yang telah disetujui diwujudkan dalam bentuk kode program yang modular dan terstruktur untuk menjamin keterbacaan, kemampuan pemeliharaan, dan dukungan integrasi antar komponen. Implementasi aplikasi web dilakukan dengan bahasa pemrograman JavaScript pada seluruh lapisan

arsitektur melalui stack teknologi PERN (PostgreSQL, Express.js, React.js, dan Node.js), di mana React.js digunakan pada sisi klien untuk membangun antarmuka pengguna yang responsif dan berbasis komponen, sementara Express.js dan Node.js mengelola backend serta API sistem dengan konektivitas ke basis data PostgreSQL sebagai tempat penyimpanan dan pengelolaan data relasional. Pendekatan modular ini tidak hanya memfasilitasi pemisahan tanggung jawab antara antarmuka, logika bisnis, dan data, tetapi juga mempercepat proses pengujian, debugging, dan pemeliharaan karena setiap modul dapat dikembangkan dan diuji secara independen sebelum integrasi akhir [24], serta mencerminkan praktik umum implementasi kode program dalam sistem informasi berbasis web yang diterapkan dalam penelitian Information Systems modular lainnya [25]. Lebih jauh lagi, pengembangan RESTful API menggunakan Express.js serta pengelolaan basis data PostgreSQL juga terbukti efisien dalam membangun backend yang ringan dan cepat dalam menangani permintaan data dari aplikasi klien [26].

d. Pengujian (Testing)

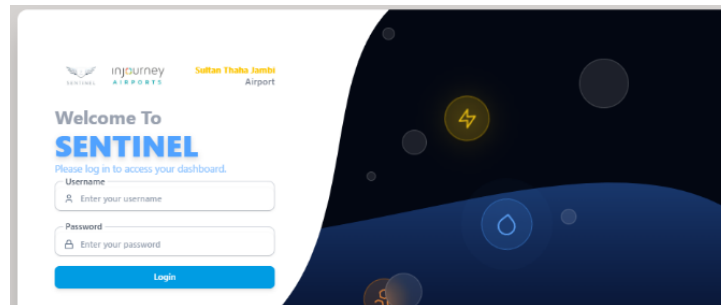
Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh fungsi berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah ditetapkan. Pada penelitian ini digunakan metode black-box testing, yaitu teknik pengujian fungsional yang memverifikasi kesesuaian antara masukan dan keluaran sistem tanpa melihat struktur internal kode program. Pendekatan ini digunakan untuk mengevaluasi behavior aplikasi secara keseluruhan berdasarkan spesifikasi fungsionalnya yang menunjukkan efektivitas metode dalam memastikan fungsi berjalan sesuai kebutuhan [27]. Selain itu, black-box testing juga diterapkan dalam pengujian sistem informasi berbasis web dan perpustakaan untuk mengecek apakah setiap fitur aplikasi memberikan output sesuai dengan spesifikasi kebutuhan pengguna [28], [29].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Rancangan Hasil Penelitian

3.1.1 Halaman Login

Halaman Login merupakan gerbang utama keamanan pada sistem SENTINEL yang memegang peranan vital dalam memverifikasi identitas pengguna sebelum mereka diberikan hak akses ke dalam sistem. Antarmuka halaman ini sengaja dirancang dengan pendekatan minimalis namun tetap modern. Tujuannya adalah untuk meminimalkan gangguan visual sehingga pengguna dapat berfokus sepenuhnya pada proses autentikasi secara cepat dan efisien tanpa merasa bingung dengan banyak elemen tambahan.



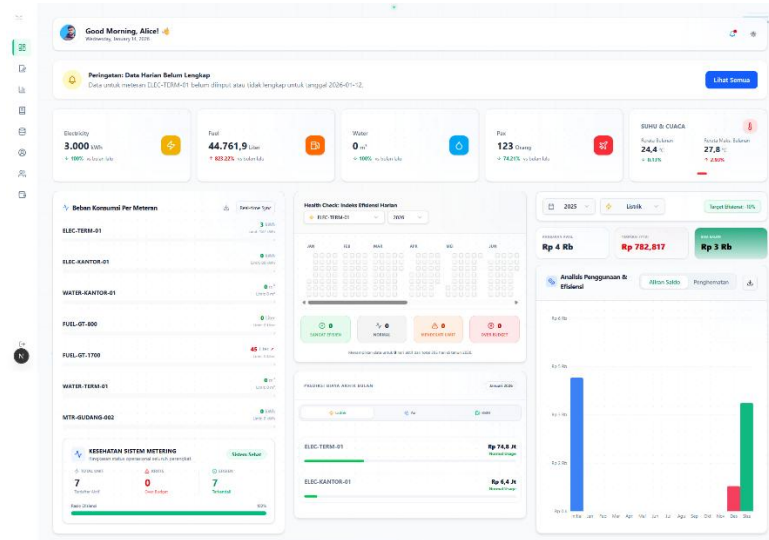
Gambar 2. Halaman Login

Sebagaimana ditampilkan pada **Gambar 2**, pengguna diwajibkan untuk memasukkan username dan password yang telah terdaftar secara resmi di dalam basis data sistem. Proses verifikasi ini menjadi lapisan pertahanan pertama yang sangat krusial guna memastikan bahwa seluruh data sensitif operasional di dalam sistem tetap terlindungi dan hanya dapat dikelola oleh pihak-pihak yang memiliki wewenang.

Dari sisi teknis, keamanan yang diilustrasikan pada **Gambar 2** tidak hanya mengandalkan pengecekan kredensial biasa, melainkan juga diperkuat dengan enkripsi satu arah pada tingkat basis data untuk melindungi kerahasiaan kata sandi. Selain itu, manajemen session telah menggunakan teknologi token-based authentication (seperti JWT) untuk mencegah adanya upaya akses ilegal atau pembajakan sesi. Keunggulan lain dari halaman ini adalah desain antarmukanya yang sangat responsif; hal ini memastikan para teknisi di lapangan tetap bisa melakukan login dengan nyaman melalui smartphone mereka, sama lancarnya dengan saat diakses melalui perangkat desktop di kantor. Implementasi standar keamanan digital ini dilakukan secara menyeluruh untuk meminimalisir segala bentuk risiko kebocoran informasi internal perusahaan.

3.1.2 Halaman Dashboard

Halaman Dashboard berfungsi sebagai pusat kendali (command center) yang menyatukan seluruh informasi penting dalam satu layar. Sebelumnya, data konsumsi energi seperti listrik, air, dan BBM, serta data pendukung seperti jumlah penumpang (PAX) dan cuaca, tersimpan secara terpisah dalam banyak file spreadsheet yang sulit untuk dipantau secara bersamaan. Dashboard ini hadir sebagai solusi untuk mengintegrasikan data-data yang terpecah tersebut ke dalam satu wadah yang terpusat.



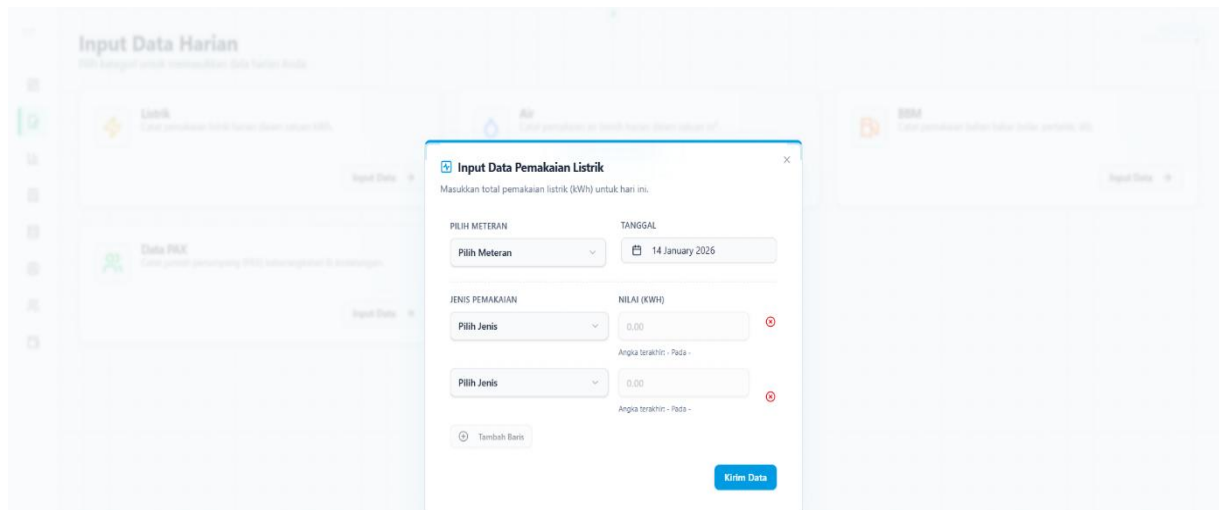
Gambar 3. Antarmuka Dashboard Utama

Seperti yang terlihat pada **Gambar 3**, antarmuka ini menyajikan metrik utama secara real-time. Di bagian atas halaman, terdapat "Kartu Ringkasan" (Summary Cards) untuk Electricity, Fuel, Water, dan Pax. Kartu-kartu ini berfungsi seperti indikator pada panel kendaraan, memberikan informasi cepat kepada manajemen mengenai status operasional hari ini tanpa harus membaca tabel yang rumit.

Keunggulan utama dari tampilan pada **Gambar 3** adalah visualisasi datanya yang interaktif. Di sisi kanan layar, terdapat grafik "Analisis Pemakaian & Efisiensi" serta "Distribusi Biaya" yang mengolah angka-angka mentah menjadi informasi visual yang mudah dicerna. Dengan bantuan grafik ini, manajer tidak hanya melihat angka konsumsi, tetapi juga bisa langsung memahami tren pemakaian energi dan alokasi biaya secara akurat. Pengelompokan informasi yang cerdas ini dirancang khusus untuk memangkas waktu analisis manual, sehingga manajemen dapat mengambil keputusan strategis dengan lebih cepat dan tepat sasaran berdasarkan data yang aktual.

3.1.3 Halaman Fitur Operasional Harian

Fitur ini merupakan komponen inti dari digitalisasi proses bisnis yang bertujuan menggantikan penggunaan spreadsheet manual yang rentan terhadap kehilangan data. Antarmuka ini dirancang khusus untuk memfasilitasi teknisi di lapangan dalam melakukan pencatatan data utilitas secara cepat dan akurat.



Gambar 4. Antarmuka Formulir Input Data

Pada **Gambar 4**, formulir Input Data menyediakan kolom yang spesifik untuk setiap parameter energi, seperti nilai WBP (Waktu Beban Puncak) dan LWBP (Luar Waktu Beban Puncak) untuk penggunaan listrik. Sistem ini secara otomatis menampilkan angka terakhir yang tercatat sebagai pembandingan, sehingga teknisi dapat melakukan verifikasi instan di tempat. Selain itu, formulir pada **Gambar 4** dilengkapi dengan validasi data built-in untuk meminimalkan human error atau kesalahan tipografi saat proses input. Dengan adanya sistem validasi ini, integritas data yang masuk ke basis data tetap terjaga, yang pada gilirannya akan menghasilkan laporan analisis yang lebih valid pada halaman dashboard.

Gambar 5. Halaman Data Konsumsi

Pengelolaan data pada sistem SENTINEL mencakup penyimpanan riwayat konsumsi energi yang telah terintegrasi secara menyeluruh dalam basis data terpusat. Melalui antarmuka yang tersaji pada **Gambar 5**, pengguna diberikan kemudahan untuk meninjau rekapitulasi data harian yang telah diolah secara otomatis oleh sistem. Tabel rekapitulasi ini bukan sekadar kumpulan angka, melainkan alat analisis yang menyediakan parameter krusial seperti perbandingan terhadap target harian, nilai deviasi, serta klasifikasi penggunaan guna mengidentifikasi adanya anomali konsumsi secara cepat dan tepat.

Lebih jauh lagi, sistem ini secara cerdas mengonversi data penggunaan fisik menjadi estimasi biaya finansial yang muncul secara real-time. Fitur ini membantu pihak manajemen dalam memantau pengeluaran operasional secara mendetail, sehingga setiap lonjakan biaya dapat segera ditelusuri penyebabnya sebelum menjadi beban anggaran yang besar di akhir bulan. Penjagaan integritas data pada **Gambar 5** dipastikan melalui sinkronisasi antara database utama dengan input terbaru dari lapangan, sehingga laporan yang dihasilkan selalu aktual. Dengan adanya sistem riwayat yang terorganisir ini, Bandara Sultan Thaha Jambi dapat memiliki basis data yang kuat untuk keperluan audit energi maupun perencanaan penghematan di masa mendatang.

3.1.4 Fitur Manajerial (Perencanaan & Target)

Optimasi penggunaan energi pada sistem SENTINEL tidak hanya berhenti pada pemantauan teknis di lapangan, tetapi juga mencakup aspek perencanaan finansial yang strategis. Melalui antarmuka Manajemen Budget yang dipaparkan pada **Gambar 6**, pihak manajer memiliki kendali penuh untuk menetapkan alokasi anggaran energi tahunan secara sistematis berdasarkan kebutuhan operasional tiap departemen atau gedung.

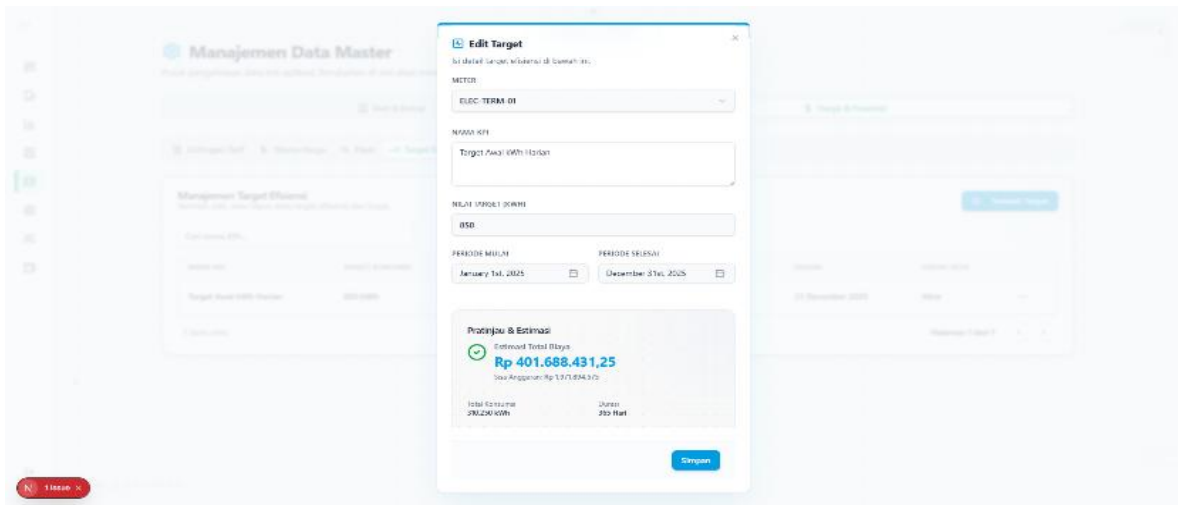
PERIODE	TOTAL BUDGET	REALISASI	USAGE (%)	TUPE ENERGI
> 1 Jan 2025 - 31 Des 2025	Rp 4.151.357.000	Rp 782.816.629,5	18,86%	Listrik
> 1 Jan 2025 - 31 Jul 2025	Rp 5.943.785.150	Rp 0	0,00%	Listrik

Gambar 6. Antarmuka Penetapan Anggaran

Tampilan pada **Gambar 6** menyajikan ringkasan eksekutif yang sangat komprehensif, mencakup Alokasi, Realisasi, Sisa Budget, hingga Persentase Realisasi penggunaan dana yang telah terserap. Integrasi data ini menjadi fondasi bagi sistem dalam melakukan analisis efisiensi yang mendalam, di mana manajer dapat membandingkan target finansial dengan realisasi konsumsi energi di lapangan secara langsung tanpa perlu melakukan rekonsiliasi data manual.

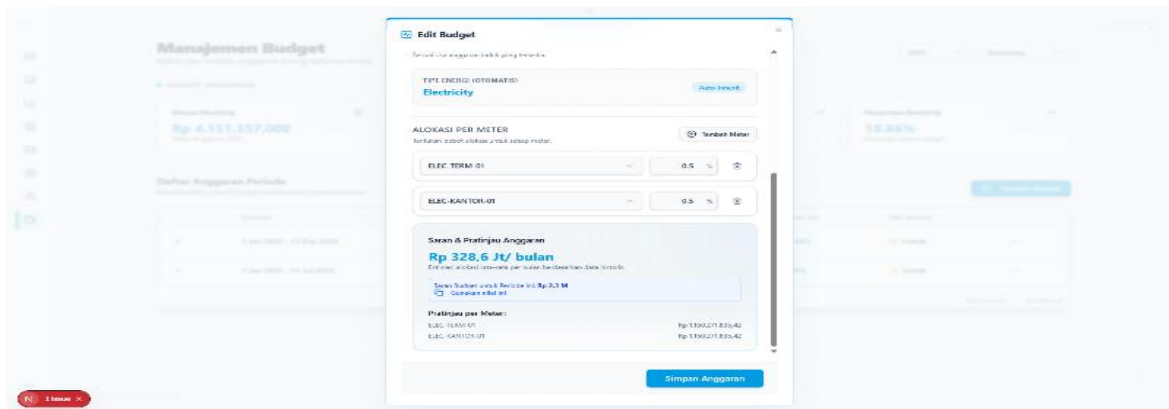
Lebih jauh lagi, fitur ini berfungsi sebagai instrumen pengawasan (supervisory tool) yang memberikan peringatan dini apabila realisasi anggaran mulai mendekati batas pagu yang telah ditetapkan. Dengan adanya visualisasi persentase yang informatif seperti yang terlihat pada **Gambar 6**, pengambilan keputusan terkait kebijakan penghematan atau penyesuaian anggaran dapat dilakukan secara cepat dan berbasis data (data-driven).

Hal ini sangat krusial guna memastikan seluruh aktivitas operasional di Bandara Sultan Thaha tetap berada dalam batas perencanaan fiskal yang ketat serta mendukung upaya keberlanjutan ekonomi melalui efisiensi energi yang terukur.



Gambar 7. Antarmuka Penetapan Target Efisiensi

Selain alokasi anggaran, sistem SENTINEL memfasilitasi kontrol operasional melalui penetapan sasaran kinerja yang terukur. Fungsi manajerial ini diwujudkan melalui antarmuka yang memungkinkan administrator menetapkan parameter efisiensi energi secara mendetail. Dalam jendela pop-up "Edit Target" yang ditampilkan pada **Gambar 7**, pengguna dapat menentukan Nama KPI, seperti "Target Awal kWh Harian", serta menetapkan Nilai Target spesifik untuk setiap unit meteran. Antarmuka pada **Gambar 7** juga menyediakan fleksibilitas dalam penentuan periode masa berlaku target, mulai dari tanggal mulai hingga tanggal selesai yang diinginkan. Fitur ini krusial untuk menciptakan standarisasi penggunaan energi di seluruh fasilitas, di mana hasil dari penetapan target ini nantinya akan menjadi acuan utama dalam perhitungan deviasi dan klasifikasi status pada halaman riwayat konsumsi. Dengan adanya estimasi total biaya yang muncul secara otomatis saat pengisian, pihak manajemen dapat memprediksi beban finansial sebelum target tersebut diaktifkan secara resmi.



Gambar 8. Antarmuka Penetapan Skema Harga

Fleksibilitas sistem dalam melakukan kalkulasi biaya sangat bergantung pada konfigurasi parameter harga yang dinamis. Melalui antarmuka yang tersaji pada **Gambar 8**, administrator memiliki kemampuan untuk mengelola skema serta jenjang harga energi yang berlaku secara spesifik. Proses manajemen ini difasilitasi oleh formulir yang memungkinkan sistem menangani variabel data kompleks secara terstruktur. Sebagaimana dipaparkan pada **Gambar 8**, komponen-komponen penting seperti Golongan Tarif, besaran Pajak yang berlaku, hingga Detail Tarif spesifik (misalnya harga WBP, LWBP, dan Bensin) dapat dikonfigurasi dalam satu alur kerja terpadu. Keberadaan fitur ini menjadi aspek krusial bagi SENTINEL untuk memastikan bahwa seluruh kalkulasi total biaya konsumsi yang muncul pada laporan akhir dilakukan secara otomatis, akurat, dan sesuai dengan regulasi harga terbaru. Dengan sistem input yang tervalidasi ini, risiko kesalahan penghitungan manual dapat dieliminasi secara signifikan.

3.2 Pengujian

Pengujian fungsionalitas sistem dilakukan oleh pengembang untuk memastikan tidak adanya kesalahan logika atau kegagalan fungsi sebelum sistem diserahkan kepada pengguna akhir. Menggunakan metode Black Box Testing,

pengujian ini membandingkan hasil eksekusi sistem dengan hasil yang diharapkan. Berikut adalah rekapitulasi hasil pengujian fungsionalitas yang telah dilakukan

Tabel 1. Hasil Pengujian Black Box Testing

No	Modul	Skenario Pengujian	Data Masukan (Input)	Hasil yang Diharapkan (Expected Result)	Hasil Pengujian (Actual Result)	Kesimpulan
1	Otentikasi	Login dengan kredensial valid	Email & Password yang terdaftar di database	Sistem menerima akses, menyimpan token (Zustand), dan mengarahkan ke halaman Dashboard.	Sesuai	Valid
2	Otentikasi	Login dengan kredensial tidak valid	Email benar tapi Password salah	Sistem menolak akses dan menampilkan pesan error "Password salah".	Sesuai	Valid
3	Otentikasi	Logout dari sistem	Menekan tombol Logout	Sistem menghapus sesi/token dan mengarahkan kembali ke halaman Login.	Sesuai	Valid
4	Dashboard	Visualisasi Data Real-time	Membuka halaman Dashboard	Grafik (Recharts) dan kartu statistik tampil dengan data terbaru dari database.	Sesuai	Valid
5	Manajemen Energi	Menambah Data Meteran Baru (Create)	Nama Meter, ID Serial, Lokasi, Tipe	Data meteran baru tersimpan di database dan muncul di tabel daftar meteran.	Sesuai	Valid
6	Manajemen Energi	Validasi Input Kosong	Mengosongkan form wajib saat tambah meteran	Sistem menampilkan pesan peringatan (validasi Zod) bahwa kolom tidak boleh kosong.	Sesuai	Valid
7	Manajemen Energi	Mengubah Data Meteran (Update)	Mengubah lokasi atau nama meteran	Data yang diubah berhasil diperbarui dan tampil di tabel.	Sesuai	Valid
8	Manajemen Energi	Menghapus Data Meteran (Delete)	Menekan tombol hapus pada salah satu data	Data terhapus dari database dan hilang dari tampilan tabel.	Sesuai	Valid
9	Laporan	Ekspor Laporan Bulanan	Memilih bulan dan menekan tombol Ekspor	Sistem mengunduh file (PDF/Excel) berisi rekapitulasi energi bulan tersebut.	Sesuai	Valid

Berdasarkan hasil pengujian Black Box yang dipaparkan dalam **Tabel 1**, dapat disimpulkan bahwa seluruh fungsionalitas utama sistem telah beroperasi sesuai dengan spesifikasi kebutuhan yang dirancang. Dari sembilan skenario pengujian yang dilakukan, mencakup modul autentikasi, visualisasi data pada dashboard, manajemen data energi, hingga fitur pelaporan, seluruhnya memberikan hasil "Valid" di mana actual result selaras dengan expected result. Keberhasilan ini mengonfirmasi bahwa mekanisme validasi input, manajemen state aplikasi menggunakan Zustand, serta interaksi basis data telah terintegrasi dengan optimal tanpa adanya kegagalan fungsi (bug) yang signifikan pada alur kerja utama pengguna.

4. KESIMPULAN

Pencatatan konsumsi energi (listrik, air, dan BBM) di Bandara Sultan Thaha Jambi sebelumnya sangat bergantung pada metode manual menggunakan spreadsheet, sebuah proses yang rentan terhadap kesalahan manusia, tidak terintegrasi, dan menyulitkan analisis data historis. Untuk mengatasi kelemahan ini, sebuah Sistem Informasi Manajemen Energi berbasis web telah dirancang dan diimplementasikan menggunakan arsitektur modern (React.js, Express.js, dan PostgreSQL). Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode Black Box Testing,



yang menunjukkan bahwa seluruh fungsionalitas berjalan valid sesuai rancangan. Berdasarkan hasil tersebut, sistem baru ini terbukti berhasil menyediakan solusi terpusat yang mengatasi masalah utama: implementasi Dashboard terpusat menyajikan rangkuman data secara real-time, Formulir Input Digital menggantikan pencatatan manual dengan validasi untuk meminimalkan human error, dan Modul Peringatan secara proaktif mengidentifikasi anomali. Dengan demikian, sistem ini berhasil mentransformasi proses dari manual-terfragmentasi menjadi digital-terintegrasi, menyediakan fondasi yang kuat untuk mendukung efisiensi energi berbasis data di lingkungan bandara.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada manajemen Bandara Sultan Thaha Jambi atas izin penelitian, fasilitas, serta akses data operasional yang diberikan, sehingga pengembangan Sistem Informasi Manajemen Energi ini dapat terlaksana dengan baik. Apresiasi juga penulis sampaikan kepada Program Studi Sistem Informasi atas dukungan akademis dan lingkungan diskusi yang konstruktif selama proses penelitian ini berlangsung.

REFERENCES

- [1] A. Kierzkowski and T. Kisiel, "Simulation Model for the Estimation of Energy Consumption of the Baggage Handling System in the Landside Area of the Airport," *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.3390/en15010256.
- [2] R. Horton et al., "Performance metrics for resilience of airport infrastructure," *Transp. Res. D Transp. Environ.*, vol. 142, p. 104676, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.104676>.
- [3] J. I. Huertas, A. Z. Rincon, A. Velazquez, C. Marquez, J. A. Diaz, and M. A. Florez, "Energy efficiency in medium-scale airports: Two Mexican airports as case of study," *Heliyon*, vol. 10, no. 15, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e35237.
- [4] M. El Zein, T. Karimipannah, and A. Ameen, "Airports—Energy and Sustainability Perspectives," Mar. 01, 2025, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi: 10.3390/en18061360.
- [5] B. Debbarma and S. Bhattacharjee, "Airport energy consumption analysis and prediction using exponential fitting, 2 correlation matrix and model calibration techniques management model suitable for global airport infrastructures, one that can blend," 2025. [Online]. Available: <https://ssrn.com/abstract=5201681>
- [6] Z. Wang, X. Liu, G. Deng, H. Shen, and Z. Xu, "A framework for retrofitting existing houses to nearly zero energy buildings: Development and a real-life case study," *Energy Build.*, vol. 252, p. 111438, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2021.111438.
- [7] T. B. Toni and T. Bezerra Toni, "Energy Efficiency in Airports and Airplanes," 2023. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/383850530>
- [8] H. H. Goh et al., "An adaptive energy management strategy for airports to achieve carbon neutrality by 2050 via waste, wind, and solar power," *Front. Energy Res.*, vol. 12, 2024, doi: 10.3389/fenrg.2024.1365650.
- [9] N. Hasna Arinda, A. Syahra Putra, D. Amalia, and M. Indra Martadinata, "Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Optimization Energy Saving In Large Airport Terminal: Hvac Technology, Eco Airport System Dan Energy Management And Control," *Edisi XLV*, vol. 9, no. 3, 2024.
- [10] L. Akbulut et al., "A Systematic Review of Building Energy Management Systems (BEMSs): Sensors, IoT, and AI Integration," *Energies (Basel)*, vol. 18, no. 24, p. 6522, Dec. 2025, doi: 10.3390/en18246522.
- [11] R. Kurniawan and A. Feinnudin, "Assessing the Implementation of the Energy Management System in the First ISO 50001 Building in Indonesia," 2021.
- [12] W. Li and A. Mohanta, "Energy Management Systems in the Context of Sustainable Business Practices," *Journal of Lifestyle and SDGs Review*, vol. 5, no. 5, p. e06600, May 2025, doi: 10.47172/2965-730x.sdgsreview.v5.n05.pe06600.
- [13] A. S. Akram, S. Abbas, M. A. Khan, A. Athar, T. M. Ghazal, and H. Al Hamadi, "Smart Energy Management System Using Machine Learning," *Computers, Materials and Continua*, vol. 78, no. 1, pp. 959–973, 2024, doi: 10.32604/cmc.2023.032216.
- [14] A. Saravanos and M. X. Curinga, "Simulating the Software Development Lifecycle: The Waterfall Model," *Applied System Innovation*, vol. 6, no. 6, Dec. 2023, doi: 10.3390/asi6060108.
- [15] Nazwa Alya Faradita, Warda Hamidah, and Armansyah Armansyah, "Desain Sistem Pengadaan Barang Inventaris dengan Pendekatan SDLC dan Waterfall," *JURNAL PENELITIAN SISTEM INFORMASI (JPSI)*, vol. 2, no. 2, pp. 39–50, Apr. 2024, doi: 10.54066/jpsi.v2i2.1791.
- [16] M. R. Maulana, "EVALUASI METODOLOGI WATERFALL DAN AGILE: STUDI LITERATUR PADA SISTEM PERPUSTAKAAN," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 1, Jan. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.5900.
- [17] F. Stephanus Suwita, W. N. Fadli, A. Suhendra, and F. Z. Sulthoni, "Implementation of Waterfall Method in Designing Website-Based Discussion Forums," 2023. [Online]. Available: <https://ojs.unikom.ac.id/index.php/injudes>
- [18] Shamsulhuda Khan and Shubhangi Mahadik, "A Comparative Study of Agile and Waterfall Software Development Methodologies," *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, pp. 399–402, Jul. 2022, doi: 10.48175/ijarsct-5696.
- [19] F. Zakaria and E. Utami, "An Analysis of Requirement Engineering and Techniques: A Literature Review," 2024.
- [20] M. T. Akbar and M. U. Siregar, "A Survey on Software Requirements Engineering in Information Technology Institutions," *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, vol. 9, no. 2, pp. 253–264, Nov. 2024, doi: 10.21831/elinvo.v9i2.70862.
- [21] S. B. A. Dewa and N. L. Azizah, "Perancangan Sistem Informasi Sekolah Berbasis Web Menggunakan Metode SDLC," *Indonesian Journal of Applied Technology*, vol. 1, no. 2, p. 15, Jul. 2024, doi: 10.47134/ijat.v1i2.3053.



- [22] M. Alif, B. Irawan, and L. Yorita, “Perancangan Sistem Informasi Penjualan Dan Pemesanan Pada Aura Kue Jambi,” *Jurnal Informatika Dan Rekayasa Komputer (JAKAKOM)*, vol. 4, no. 2, 2024, doi: 10.33998/jakakom.v4i2.
- [23] R. A. Pradipta, P. B. Wintoro, and D. Budiyanto, “Perancangan Pemodelan Basis Data Sistem Informasi Secara Konseptual Dan Logikal,” *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 10, no. 2, May 2022, doi: 10.23960/jitet.v10i2.2541.
- [24] B. Bachina, “Comprehensive Development and Build Strategies for the PERN Stack,” *Journal of Scientific and Engineering Research* 189 *Journal of Scientific and Engineering Research*, vol. 2023, no. 2, pp. 189–201, 2023, [Online]. Available: <https://www.postgresql.org/>
- [25] Ridwan Nurhakim and D. Rohmayani, “Aplikasi Permainan Kartu Memori Berbasis Web Untuk Pembelajaran Kosakata Bahasa Sunda (Studi Kasus Sekolah Dasar Negeri Binawarga Cipongkor),” *ipsikom*, vol. 13, no. 2, pp. 21–29, Dec. 2025, doi: 10.58217/ipsikom.v13i2.101.
- [26] B. Bachina, “Efficient RESTful API Development with NodeJS, Express, and PostgreSQL,” 2023.
- [27] M. Nur Icshsanudin and M. Yusuf, “Pengujian Fungsional Perangkat Lunak Sistem Informasi Perpustakaan Dengan Metode Black Box Testing Bagi Pemula,” vol. 1, no. 2, pp. 1–8, 2022, doi: 10.55123.
- [28] N. Mahrozi and M. A. Yaqin, “Pengujian Aplikasi Dengan Metode Blackbox Testing: Analisis Boundary Value Dan Equivalence Partitioning Pada Aplikasi Sistem Pakar Kucing,” 2024.
- [29] P. Leloudas, “Software Testing Strategies Accelerating software delivery with continuous testing and integration,” 2025. [Online]. Available: www.bpbonline.com