

Sistem Pemindaian Boarding Pass Mobile dan Dashboard Monitoring Terintegrasi untuk Optimasi Operasional Bandara

Muhammad Fadlan Ghafur^{1*}, Asep Wahyudin², Ani Anisyah³

Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

Email: ^{1*}Fadhlanghafur1509@upi.edu, ²away@upi.edu, ³anianisyah@upi.edu

(*Email Corresponding Author: Fadhlanghafur1509@upi.edu)

Received: July 30, 2025 | Revision: August 8, 2025 | Accepted: August 10, 2025

Abstrak

Inefisiensi proses verifikasi *boarding pass* manual yang ditandai oleh kelambatan, kerentanan terhadap *human error*, dan ketiadaan data operasional *real-time* menjadi tantangan signifikan di bandara internasional dengan volume penumpang tinggi seperti Bandara Soekarno-Hatta. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membangun, dan mengevaluasi sebuah sistem terintegrasi yang terdiri dari aplikasi pemindaian *boarding pass* berbasis *mobile* untuk petugas lapangan dan *dashboard* monitoring berbasis web untuk manajemen guna mengoptimalkan layanan operasional. Dengan mengadopsi metodologi pengembangan ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*), sistem dikembangkan menggunakan *framework* Flutter untuk aplikasi *mobile* dan Laravel untuk API *backend* serta *dashboard* web. Evaluasi sistem dilakukan melalui serangkaian pengujian komprehensif, mencakup pengujian fungsional (*black-box*) dan pengujian struktural (*white-box*) pada komponen kritis. Hasil penelitian ini adalah sebuah prototipe sistem fungsional yang telah divalidasi, menunjukkan kapabilitas pemindaian QR Code dengan responsivitas tinggi dan sebuah *dashboard* web analitik yang interaktif. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan telah memenuhi seluruh spesifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional yang ditetapkan. Disimpulkan bahwa sistem yang diusulkan secara efektif mengatasi inefisiensi proses *boarding* manual melalui peningkatan efisiensi waktu, jaminan akurasi data via otomatisasi, dan penyediaan kapabilitas pemantauan *real-time*, merepresentasikan sebuah langkah fundamental menuju praktik manajemen bandara modern yang proaktif dan berbasis data.

Kata Kunci: ADDIE, Bandara Soekarno-Hatta, *Boarding Pass*, *Dashboard Monitoring*, Efisiensi Operasional, Pemindaian *Mobile*.

Abstract

The inefficiency of the manual *boarding pass* verification process characterized by delays, vulnerability to *human error*, and a lack of *real-time* operational data poses a significant challenge at Soekarno-Hatta International Airport. This research aims to design and build an integrated system consisting of a *mobile*-based *boarding pass* scanning application and a web-based monitoring *dashboard* to optimize operational services. This study adopts the ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) development methodology, which includes requirements analysis, architecture and interface design, system development using the Flutter and Laravel frameworks, and implementation and evaluation through functional and structural testing. The result of this research is a functional system comprised of a *mobile* application with QR Code scanning capabilities and an interactive web *dashboard* for analytical data visualization. Evaluation results show that the developed system has met all the established functional and non-functional requirements. It is concluded that the proposed system effectively addresses the inefficiencies of the manual *boarding* process by improving time efficiency, ensuring data accuracy through automation, and providing *real-time* monitoring capabilities. This innovation represents a fundamental step towards modern, proactive, and data-driven airport management practices.

Keywords: ADDIE, Soekarno-Hatta Airport, *Boarding Pass*, *Monitoring Dashboard*, Operational Efficiency, *Mobile Scanning*.

1. PENDAHULUAN

Bandara merupakan infrastruktur vital dalam sistem transportasi yang perannya kian strategis seiring meningkatnya mobilitas masyarakat dan proyeksi pertumbuhan penumpang udara secara global [1]. Di Indonesia, Bandara Internasional Soekarno-Hatta (CGK) yang dikelola oleh PT Angkasa Pura II menjadi salah satu gerbang utama negara dan tercatat sebagai salah satu bandara tersibuk di Asia Tenggara. Tingginya volume penerbangan dan penumpang menuntut inovasi manajemen untuk mengoptimalkan efisiensi operasional dan kualitas layanan [2]. Salah satu tantangan utama adalah kepadatan dan antrian panjang, khususnya di area *boarding gate*, sebuah tantangan operasional kompleks yang menjadi subjek pemodelan dan optimisasi dalam manajemen bandara modern [3].

Sebagai respons terhadap tantangan ini, dan sejalan dengan gelombang transformasi digital yang melanda industri penerbangan untuk meningkatkan kelincuhan operasional dan pengalaman penumpang [4], implementasi sistem pemindaian *boarding pass* otomatis menjadi sebuah keharusan strategis. sebuah proses yang rentan terhadap *human error* dan menyebabkan waktu tunggu yang lebih lama. Meskipun teknologi pemindaian otomatis telah diterapkan, penggunaannya

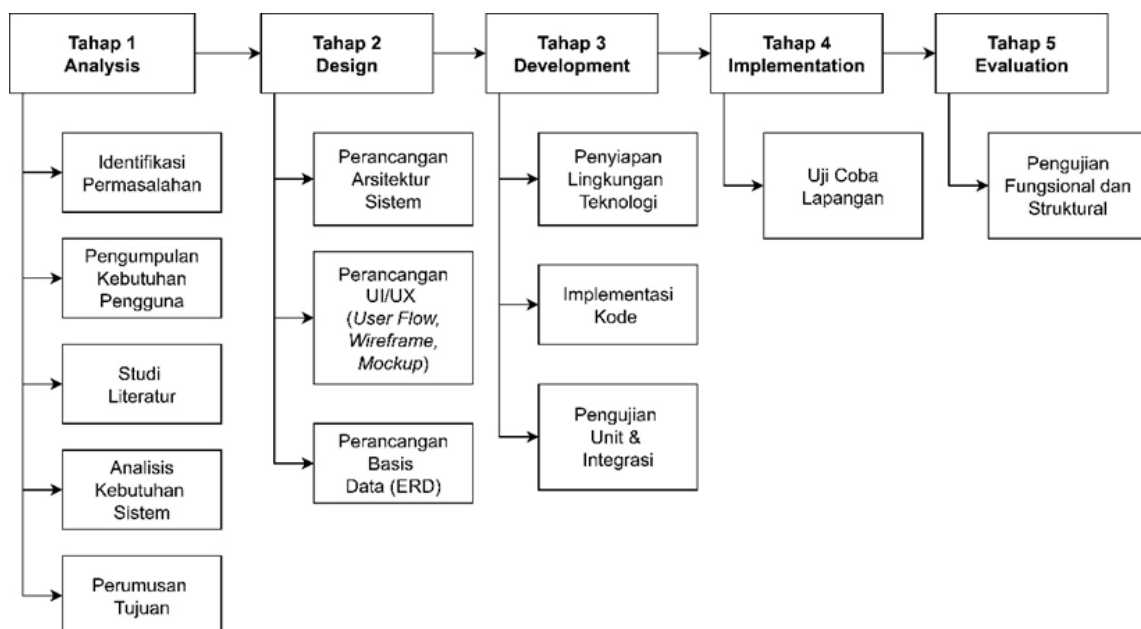
masih sangat terbatas, seperti yang terlihat pada layanan prioritas Garuda Indonesia di Terminal 3 [5]. Implementasi parsial ini belum memberikan dampak luas terhadap efisiensi bandara secara keseluruhan, sehingga metode manual tetap menjadi standar di banyak titik.

Penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem *boarding gate* otomatis yang dapat diterapkan secara universal di seluruh terminal Bandara Soekarno-Hatta. Tujuan utamanya adalah meningkatkan efisiensi kerja *Aviation Security* serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data melalui integrasi dengan *dashboard* manajerial. Gagasan ini didasarkan pada pengalaman magang peneliti di PT Angkasa Pura II, termasuk keterlibatan dalam uji coba sistem di Terminal 3 yang menunjukkan pengurangan waktu antrian secara signifikan.

Sebagai komponen pendukung pengambilan keputusan, penelitian ini juga mengembangkan sebuah purwarupa *dashboard* manajerial. Perlu dipahami bahwa PT Angkasa Pura II sebagai manajemen bandara sejatinya telah memiliki *dashboard* operasional internal untuk memantau berbagai aspek layanan. Akan tetapi, karena kebijakan keamanan data dan batasan akses untuk keperluan penelitian, *dashboard* tersebut tidak dapat digunakan secara langsung. Lebih penting lagi, fungsionalitas *dashboard* eksisting tersebut belum dirancang untuk terintegrasi dengan sistem aplikasi pemindaian *boarding pass* berbasis *mobile* yang diusulkan dalam penelitian ini. Oleh karena itu, *dashboard* yang dikembangkan dalam studi ini berfungsi sebagai sebuah *refinement* atau model pembuktian konsep (*proof of concept*) yang menunjukkan bagaimana data pemindaian *real-time* dapat divisualisasikan untuk analisis operasional. Pendekatan ini memperkuat temuan [6] terkait efektivitas *autogate boarding pass scanner* dalam meningkatkan *Level of Service* dan solusi yang diusulkan dalam penelitian ini secara langsung mengadopsi prinsip-prinsip Smart Airport, yang didefinisikan sebagai pemanfaatan teknologi digital seperti aplikasi *mobile* untuk menciptakan layanan yang lebih cerdas dan memungkinkan analisis prediktif [7][8]. Dengan demikian, sistem ini dirancang tidak hanya untuk efisiensi, tetapi juga sebagai fondasi untuk manajemen bandara berbasis data.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Kerangka Kerja Pengembangan



Gambar 1. Desain Penelitian Metode Pengembangan ADDIE

Penelitian ini mengadopsi model pengembangan ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) sebagai kerangka kerja sistematis untuk merancang, membangun, dan mengevaluasi sistem pemindaian *boarding pass* dan *dashboard monitoring*. Model ini dipilih karena pendekatannya yang sistematis dan terstruktur, di mana efektivitasnya dalam pengembangan berbagai program instruksional telah divalidasi melalui studi meta-analisis [9]. Selain itu, model ADDIE telah terbukti relevan dan efektif sebagai kerangka kerja dalam studi-studi terkini yang secara spesifik berfokus pada pengembangan aplikasi *mobile* interaktif [10], yang memvalidasi kesesuaiannya untuk penelitian ini.

a. *Analysis*

Tahap awal berfokus pada identifikasi masalah fundamental dari proses verifikasi manual, yaitu inefisiensi waktu, potensi *human error*, dan ketiadaan data operasional *real-time*. Pengumpulan kebutuhan dilakukan melalui observasi dan diskusi dengan calon pengguna, yaitu petugas lapangan (*Aviation Security*) dan pihak manajemen. Hasilnya adalah spesifikasi kebutuhan fungsional (kemampuan pemindaian *QR code*, otentikasi petugas) dan non-fungsional (keandalan, keamanan, antarmuka yang intuitif).

b. *Design*

Pada tahap ini, hasil analisis diterjemahkan ke dalam cetak biru teknis. Arsitektur sistem dirancang menggunakan model *client-server*, di mana aplikasi *mobile* dan *dashboard web* berkomunikasi dengan *backend* melalui API. Perancangan antarmuka (UI/UX) meliputi pembuatan *user flow*, *wireframe*, dan *mockup* berketelitian tinggi (*high-fidelity*). Sementara itu, perancangan basis data mencakup pemodelan *Entity-Relationship Diagram* (ERD) dan perancangan skema fisik menggunakan MySQL untuk mengelola data penumpang dan penerbangan.

c. *Development*

Tahap pengembangan merealisasikan rancangan menjadi produk fungsional. Aplikasi *mobile* dikembangkan menggunakan kerangka kerja Flutter untuk efisiensi lintas platform, sedangkan sisi *backend* dan *dashboard web* dibangun dengan kerangka kerja Laravel. Proses pengembangan mencakup pembuatan API, implementasi antarmuka aplikasi dan dashboard, serta dilanjutkan dengan pengujian unit dan integrasi untuk memastikan setiap komponen dan alur data berfungsi sesuai rancangan. Pemilihan kerangka kerja Flutter tidak hanya didasarkan pada efisiensi pengembangan lintas platform, tetapi juga pada pertimbangan kinerja teknis. Studi perbandingan akademis menunjukkan bahwa Flutter memiliki keunggulan performa dalam hal penggunaan CPU dan kelancaran rendering antarmuka pada aplikasi yang bersifat intensif data [11].

d. *Implementation*

Implementasi dilakukan melalui uji coba lapangan terbatas (*field beta test*) di lingkungan operasional Bandara Soekarno-Hatta. Pada tahap ini, sistem di-*deploy* pada *staging server* dan aplikasi diinstal pada perangkat petugas. Pendekatan yang digunakan adalah pendampingan dan observasi langsung untuk mengumpulkan umpan balik kualitatif mengenai fungsionalitas dan usability sistem dalam kondisi nyata.

e. *Evaluation*

Tahap evaluasi akhir bertujuan untuk mengukur kualitas dan efektivitas sistem secara objektif. Pengujian dilakukan melalui dua pendekatan utama:

- Pengujian Fungsional (*Black Box Testing*): Memverifikasi bahwa seluruh fitur sistem berjalan sesuai skenario uji yang telah ditentukan dari perspektif pengguna.
- Pengujian Struktural (*White Box Testing*): Menganalisis logika internal kode melalui pengujian unit dan integrasi untuk memastikan akurasi dan keandalan teknis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil konkret dari tahap pengembangan dan evaluasi, diikuti dengan pembahasan mendalam mengenai signifikansi dan implikasi dari temuan penelitian.

3.1 Tahap Analisis

Tahap pertama yaitu tahap analisis adalah fase fundamental untuk mengidentifikasi masalah inti, akar penyebabnya, dan kebutuhan sistem. Proses ini melibatkan observasi langsung di area *boarding gate* Bandara Soekarno-Hatta dan diskusi dengan petugas serta manajemen untuk memahami tantangan operasional. Ditemukan bahwa proses manual menyebabkan inefisiensi waktu, rentan terhadap *human error*, dan tidak menyediakan visibilitas data *real-time* bagi manajemen. Berdasarkan temuan ini, disusunlah spesifikasi kebutuhan sistem yang mencakup kebutuhan fungsional dan non-fungsional.

Tabel 1. Kebutuhan Fungsional

ID	Keterangan
F-01	Sistem harus mampu melakukan otentikasi pengguna (petugas dan manajemen) dengan nama pengguna dan kata sandi.
F-02	Aplikasi <i>mobile</i> harus memiliki fitur untuk memindai QR Code dari <i>boarding pass</i> .
F-03	Sistem harus mampu memvalidasi data hasil pemindaian dengan data yang ada di basis data.
F-04	Sistem harus mengirimkan data pemindaian yang valid ke <i>server</i> secara <i>real-time</i> .

ID	Keterangan
F-05	<i>Dashboard</i> web harus menampilkan data agregat jumlah penumpang yang telah dipindai untuk setiap penerbangan.
F-06	<i>Dashboard</i> web harus menyediakan fitur untuk menyaring (filter) data berdasarkan nomor penerbangan dan tanggal.

Tabel 1 merinci kebutuhan fungsional sistem, seperti autentikasi, fitur scan, hingga fitur filter dalam penyajian data nya.

Tabel 2. Kebutuhan Non-Fungsional

ID	Keterangan
NF-01	Waktu respons dari saat pemindaian hingga muncul status validasi di layar aplikasi harus kurang dari 2 detik.
NF-02	Antarmuka aplikasi <i>mobile</i> dan dashboard harus intuitif sehingga dapat dipelajari oleh pengguna baru dalam waktu kurang dari 15 menit.
NF-03	Komunikasi data antara aplikasi <i>mobile</i> , server, dan dashboard harus terenkripsi.
NF-04	Sistem harus dapat diakses dan beroperasi selama 24/7 dengan target ketersediaan 99.5%.

Tabel 2 mencakup kebutuhan non fungsional mulai dari waktu respons, antarmuka yang intuitif, transaksi data yang terenkripsi, hingga ketersediaan sistem.

Sebagai bagian dari tahap analisis, dilakukan studi literatur terhadap penelitian-penelitian terdahulu untuk mendapatkan wawasan mendalam, memvalidasi permasalahan, dan mengidentifikasi praktik terbaik (best practices) yang relevan. Kajian ini memastikan bahwa solusi yang akan dirancang didukung oleh temuan-temuan empiris dan terbukti efektif di konteks lain. Temuan dari beberapa penelitian utama yang relevan dirangkum dalam tabel berikut:

Tabel 3. Studi Literatur

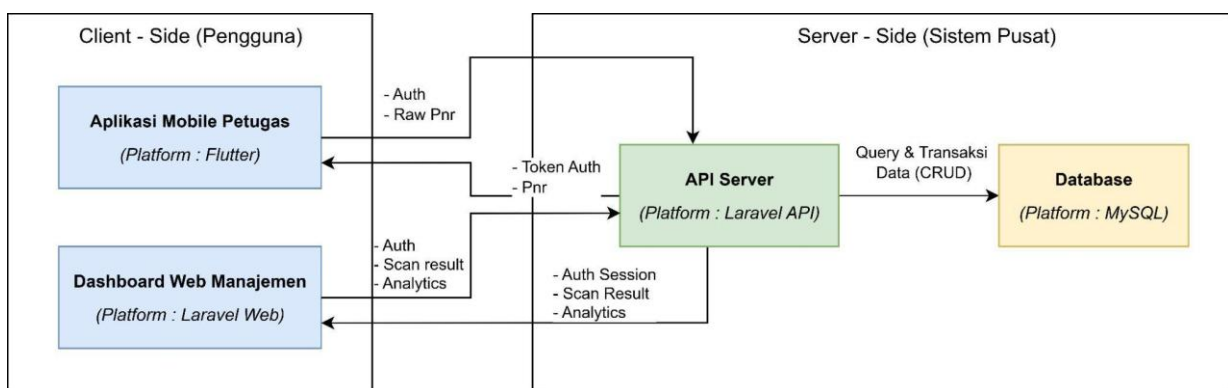
No	Judul	Hasil Temuan	Relevansi Terhadap Penelitian Ini
1	Implementasi Autogate <i>Boarding pass</i> Scanner di Bandara Internasional Yogyakarta [6]	Mengurangi waktu tunggu dan meningkatkan efisiensi operasional sebesar 35% melalui <i>autogate</i> dan <i>dashboard</i> visualisasi.	Memvalidasi bahwa penerapan teknologi pemindaian otomatis dan <i>dashboard</i> secara signifikan meningkatkan efisiensi operasional di bandara Indonesia.
2	Analisis Faktor Kepuasan dan Loyalitas Penumpang [12]	Kecepatan proses <i>check-in</i> dan kemudahan akses digital berkorelasi positif dengan kepuasan dan loyalitas penumpang.	Menguatkan argumen bahwa solusi yang fokus pada kecepatan proses (seperti pemindaian <i>mobile</i>) akan berdampak positif pada pengalaman penumpang.
3	Riset Application Programming Interface (API): Tinjauan Masa Lalu untuk Menyusun Arah Masa Depan [13]	API terbukti efektif untuk integrasi sistem yang berbeda dengan akurasi data tinggi, memfasilitasi komunikasi <i>real-time</i> .	Memberikan justifikasi untuk pemilihan arsitektur berbasis API guna menghubungkan aplikasi <i>mobile</i> , server, dan <i>dashboard</i> secara andal.
4	Desain Sistem Gerbang Pintar Berbasis Cloud dengan <i>QR Code</i> [14]	Implementasi sistem berbasis <i>QR Code</i> dan <i>cloud</i> berhasil meningkatkan kecepatan pertukaran data secara <i>real-time</i> .	Memberikan acuan teknis bahwa penggunaan <i>QR Code</i> adalah metode yang andal dan efektif untuk pertukaran data <i>boarding pass</i> secara <i>real-time</i> .

No	Judul	Hasil Temuan	Relevansi Terhadap Penelitian Ini
5	Perancangan <i>Dashboard Visualisasi Data Penumpang</i> [15]	<i>Dashboard insight</i> terbukti memberikan komprehensif kepada manajemen untuk pengambilan keputusan berbasis data.	Menjadi dasar perancangan <i>dashboard</i> monitoring, dengan fokus pada penyajian data yang mudah dipahami untuk kebutuhan manajerial.

3.2 Tahap Design

Pada tahap ini, semua kebutuhan yang telah dirumuskan pada fase analisis dikembangkan menjadi rancangan teknis yang terperinci. Proses ini menghasilkan cetak biru (*blueprint*) sebagai acuan utama dalam tahap pengembangan, yang mencakup perancangan arsitektur sistem serta desain antarmuka pengguna (UI/UX).

3.2.1 Arsitektur Sistem



Gambar 2. Arsitektur Diagram

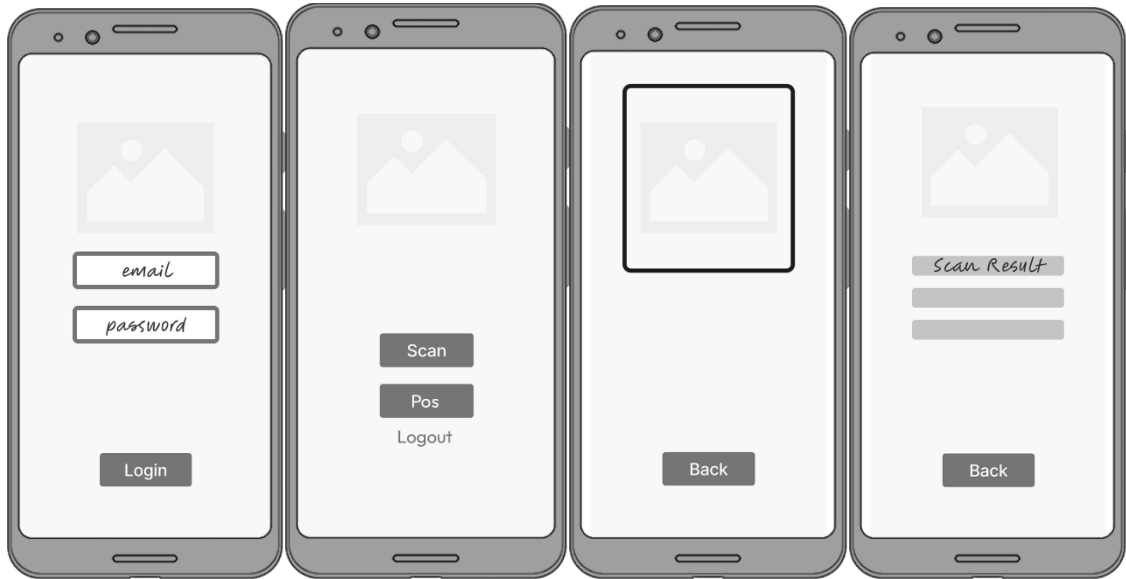
Berdasarkan analisis kebutuhan, arsitektur sistem dirancang menggunakan model *client-server* yang terbukti andal untuk skalabilitas dan kemudahan pengelolaan. Arsitektur ini memisahkan secara tegas antara lapisan presentasi (*client*) dengan lapisan logika bisnis dan data (*server*). Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2, arsitektur sistem ini terdiri dari empat komponen utama yang saling berinteraksi:

- Client Aplikasi Mobile (Flutter):** Dibangun menggunakan *framework* Flutter untuk pengembangan lintas platform, aplikasi ini berfungsi sebagai alat input utama yang digunakan oleh petugas lapangan untuk memindai QR Code pada *boarding pass*.
- Client Dashboard Web (Laravel Blade):** Dikembangkan menggunakan *framework* Laravel dengan *template engine* Blade, *dashboard* ini berfungsi sebagai antarmuka visualisasi data bagi pihak manajemen untuk memantau aktivitas operasional secara *real-time*.
- Server Backend (Laravel API):** Menjadi pusat dari sistem, *backend* yang dibangun dengan Laravel ini berfungsi sebagai *Application Programming Interface* (API). Komponen ini bertanggung jawab menangani semua permintaan dari *client*, menjalankan logika bisnis (termasuk otentikasi dan validasi data), dan berkomunikasi langsung dengan basis data.
- Basis Data (MySQL):** Dipilih sebagai sistem manajemen basis data (DBMS), MySQL berfungsi sebagai pusat penyimpanan untuk seluruh data operasional, termasuk data pengguna (petugas dan manajemen), data penerbangan, dan data hasil pemindaian.

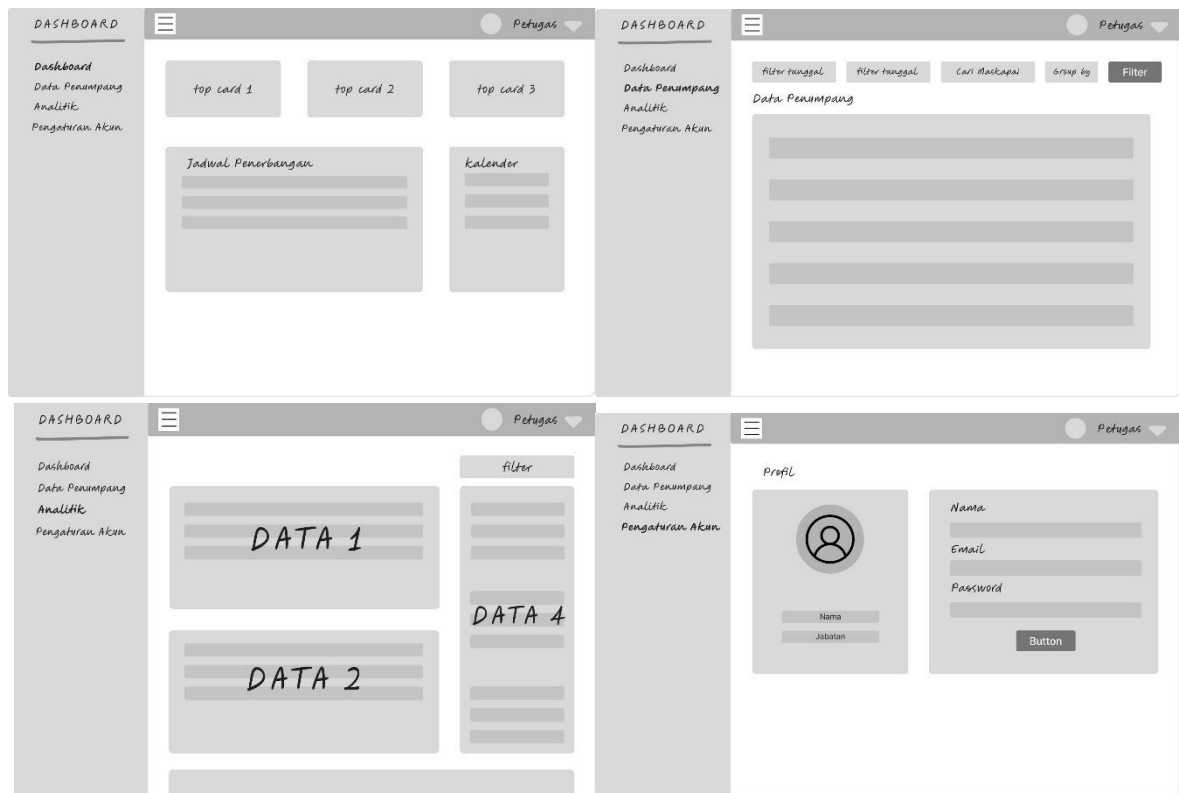
Alur kerja utama dimulai ketika aplikasi *mobile* memindai *QR Code* dan mengirimkan data mentah ke *API server*. *Server* kemudian memproses, memvalidasi, dan menyimpan data tersebut ke dalam basis data MySQL. Secara simultan, *dashboard web* dapat mengambil data yang telah diproses dari *server* untuk ditampilkan dalam bentuk visualisasi analitik kepada manajemen.

3.2.2 Design Wireframe

Wireframe berfungsi untuk memvisualisasikan kerangka dasar tampilan aplikasi sebelum masuk ke tahap pengembangan visual dan fungsional. Desain ini berperan penting dalam memastikan navigasi yang mudah dipahami dan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

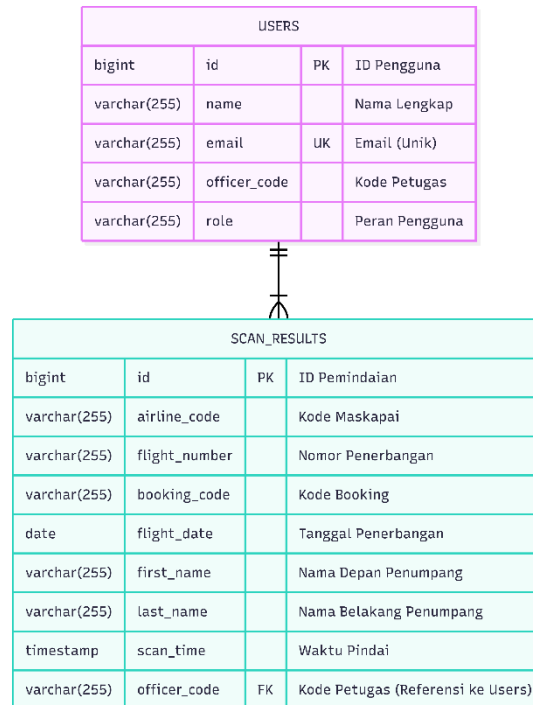


Gambar 3. Wireframe Design Mobile



Gambar 4. Wireframe Design Dashboard Website

3.2.3 Perancangan Basis Data (ERD)

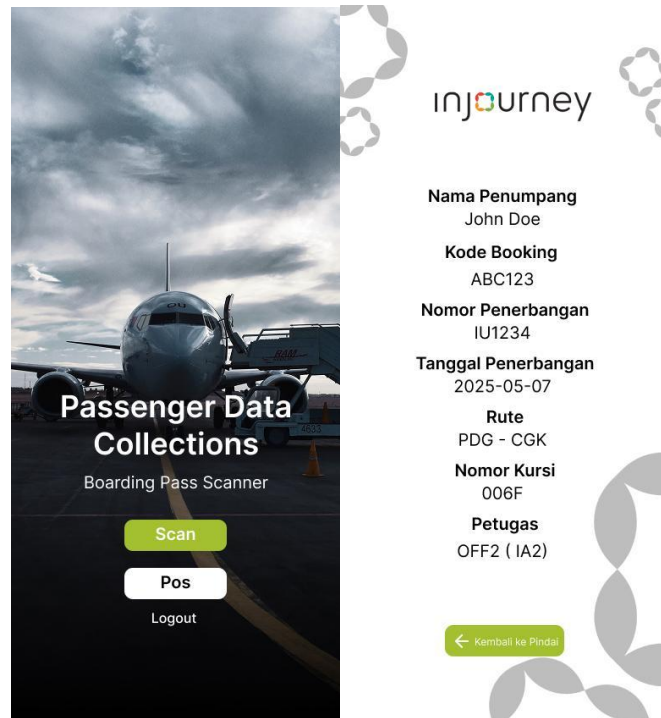


Gambar 5. Diagram Entity Relationship Diagram

Entity Relationship Diagram (ERD) digunakan untuk memodelkan struktur data dalam sistem yang dikembangkan. Diagram ini menggambarkan hubungan antara entitas utama, seperti *user*, dan aktivitas pemindaian. Dalam ERD yang dirancang, entitas *user* memiliki relasi *one-to-many* dengan entitas Pemindaian, yang menunjukkan bahwa satu petugas dapat melakukan banyak aktivitas pemindaian *boarding pass*. Entitas Penumpang juga direlasikan dengan aktivitas pemindaian untuk mencatat identitas dan detail perjalanan penumpang yang dipindai. Setiap entitas memiliki atribut kunci, seperti ID petugas, ID pemindaian, dan nomor penerbangan, yang dirancang untuk memastikan integritas dan konsistensi data. Perancangan ERD ini menjadi dasar dalam membangun struktur tabel database sistem agar dapat mendukung pemrosesan dan visualisasi data secara akurat dan efisien.

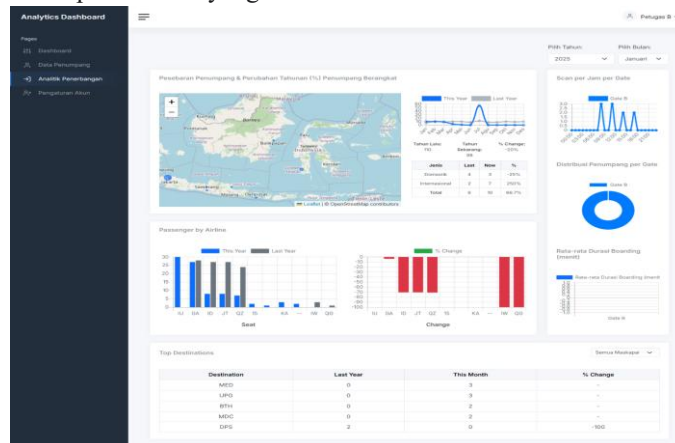
3.3 Tahap Development

Tahap pengembangan berhasil merealisasikan seluruh rancangan menjadi sebuah prototipe sistem yang fungsional. Proses ini mencakup implementasi kode untuk *backend API*, aplikasi *mobile*, dan *dashboard web*. Hasil akhir dari tahap ini adalah artefak perangkat lunak yang siap diuji dan divalidasi.



Gambar 6. Tampilan Fungsional Aplikasi Mobile

Gambar 6 menampilkan antarmuka utama dari aplikasi *mobile* yang dikembangkan, menunjukkan halaman utama yang minimalis dan halaman hasil pemindaian yang informatif.



Gambar 7. Tampilan Fungsional *Dashboard Web*

Gambar 7 menampilkan antarmuka *dashboard web*, sebuah instrumen analitik terpadu yang menyajikan data operasional untuk pengambilan keputusan manajerial. Dasbor ini memvisualisasikan data dari berbagai tingkatan, mulai dari peta geografis (geomap) untuk melihat persebaran penumpang secara makro, hingga grafik pertumbuhan tahunan (YoY) dan analisis kinerja per maskapai untuk evaluasi bisnis. Wawasan strategis lebih lanjut didapatkan dari data destinasi teratas yang menunjukkan rute terpopuler. Pada level operasional gerbang (*gate*), *dashboard* menyajikan analisis jam sibuk melalui grafik pemindaian per jam, distribusi kepadatan antar gerbang, serta metrik efisiensi kunci berupa rata-rata durasi *boarding*. Kombinasi visualisasi ini mengubah data mentah menjadi wawasan strategis yang mudah dipahami oleh manajemen untuk melakukan optimalisasi secara proaktif.

Sebagai bagian inti dari tahap pengembangan, *backend* dibangun untuk menyediakan serangkaian API yang berfungsi sebagai jembatan komunikasi antara *client* (aplikasi *mobile* dan *dashboard web*) dengan *server*. Berikut adalah rincian *endpoint* utama yang dikembangkan sesuai implementasi:

Tabel 4. Tabel Spesifikasi API

Method	Endpoint	Deskripsi
POST	/external/login	Melakukan otentikasi kredensial pengguna (petugas) berdasarkan data yang dikirim dan mengembalikan token akses jika berhasil.
POST	/external/validate/pnr	Menerima data <i>Passenger Name Record</i> (PNR) dari aplikasi <i>mobile</i> , kemudian memvalidasi dan menyimpan data tersebut ke basis data.

3.4 Tahap Implementation

Tahap implementasi dilakukan melalui uji coba lapangan terbatas (*field beta test*) pada 7 Juni 2024 di *boarding gate* Terminal 3 Bandara Soekarno-Hatta. Uji coba ini melibatkan peneliti dan dua petugas operasional untuk menguji performa sistem dalam kondisi nyata. Fokus pengujian meliputi kecepatan pemindaian, keandalan, dan intuitivitas antarmuka.

Hasilnya menunjukkan performa yang sangat positif: waktu *respons* rata-rata, dari saat pemindaian QR Code hingga status validasi data ditampilkan di layar aplikasi, secara konsisten tercatat di bawah 2 detik. Keandalan pemindaian menggunakan *package mobile_scanner* mencapai tingkat keberhasilan di atas 95%, dengan beberapa kegagalan minor yang teridentifikasi disebabkan oleh kualitas cetak *boarding pass* yang buruk atau kondisi internet yang tidak memadai. Dari sisi usability, petugas dapat mengoperasikan aplikasi secara mandiri dan efisien setelah orientasi singkat (kurang dari 5 menit), yang mengonfirmasi desain antarmuka yang intuitif. Umpan balik kualitatif yang diterima sangat positif, terutama mengenai alur kerja yang dinilai jauh lebih efisien dibandingkan metode manual. Data kuantitatif dan masukan kualitatif ini menjadi dasar yang krusial untuk tahap evaluasi sistem.

3.5 Tahap Evaluation

Evaluasi sistem dilakukan dengan strategi pengujian multi-dimensi untuk memvalidasi fungsionalitas, keandalan, dan integritas sistem secara menyeluruh. Pendekatan pengujian ganda yang saling melengkapi digunakan untuk memastikan kualitas sistem dari perspektif eksternal dan internal.

3.5.1 Pengujian Fungsional (Black-Box Testing)

Pengujian fungsional dilakukan untuk memastikan bahwa setiap fitur utama sistem berjalan sesuai dengan spesifikasi dari perspektif pengguna. Tabel 1 merangkum hasil dari beberapa kasus uji paling kritis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua fungsionalitas inti, mulai dari otentikasi pengguna, proses pemindaian (baik untuk kasus valid maupun tidak valid), hingga fitur penyaringan data pada *dashboard*, berhasil diimplementasikan dan berfungsi sesuai harapan.

Tabel 5. Ringkasan Hasil Pengujian Fungsional (*Black-Box Testing*)

ID Tes	Skenario Pengujian	Kebutuhan Fungsional	Hasil yang Diharapkan & Aktual	Status
BB-01	<i>Login</i> dengan kredensial valid	F-01	Pengguna berhasil masuk dan diarahkan ke halaman utama.	Lulus
BB-02	<i>Login</i> dengan kata sandi salah	F-01	Sistem menolak login dan menampilkan pesan kesalahan " <i>Email</i> atau <i>password</i> salah".	Lulus
BB-03	Pemindaian <i>QR code</i>	F-02, F-03, F-04	Aplikasi menampilkan detail penumpang dan status " <i>Data Sent Successfully</i> ". Data	Lulus

ID Tes	Skenario Pengujian	Kebutuhan Fungsional	Hasil yang Diharapkan & Aktual	Status
	valid		tersimpan dan terverifikasi di server.	
BB-04	Pemindaian <i>QR code</i> tidak valid	F-02, F-03	Aplikasi menampilkan pesan kesalahan " <i>QR Code</i> tidak valid atau tidak dapat dibaca".	Lulus
BB-05	Filter data di <i>dashboard</i>	F-05, F-06	<i>Dashboard</i> menampilkan data penumpang dan grafik yang sesuai dengan kriteria filter.	Lulus

3.5.2 Pengujian White-Box Testing

Seperti yang telah diidentifikasi, akurasi *parser* data IATA BCBP adalah fundamental untuk integritas data keseluruhan sistem. Pengujian struktural dilakukan untuk memvalidasi logika internal *parser* ini terhadap berbagai skenario input. Tabel 2 menunjukkan bahwa *parser* yang dikembangkan tidak hanya mampu mengurai string BCBP yang valid dan lengkap, tetapi juga dapat menangani kasus-kasus anomali seperti data opsional yang kosong atau data yang rusak, tanpa menyebabkan kegagalan sistem. Keberhasilan pengujian ini memberikan jaminan kualitas data yang tinggi sejak dari titik masuknya.

Tabel 6. Hasil Pengujian Parser IATA BCBP (White-Box Testing)

ID Tes	Deskripsi Kasus Uji	Hasil yang Diharapkan & Aktual	Status
WB-01	Uji String BCBP Valid & Lengkap	Objek JSON dihasilkan dengan semua <i>field</i> terisi sesuai input.	Lulus
WB-02	Uji String BCBP dengan data opsional kosong	<i>Field</i> wajib terisi benar, <i>field</i> opsional yang relevan bernilai null.	Lulus
WB-03	Uji String BCBP Rusak (Panjang tidak sesuai)	Fungsi mengembalikan nilai null tanpa menyebabkan crash pada aplikasi.	Lulus
WB-04	Uji String BCBP dengan <i>Edge Case</i> (Tanggal Julian)	Tanggal berhasil diurai dengan benar (misal: "001" menjadi "YYYY-01-01").	Lulus

3.6 Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan sebuah transformasi fundamental dalam proses operasional di gerbang keberangkatan. Sistem yang dikembangkan secara langsung menjawab setiap kelemahan yang melekat pada proses manual sebelumnya. Tabel 3 menyajikan perbandingan kontras antara kondisi sebelum dan sesudah inovasi sistem, yang menyoroti skala peningkatan yang dicapai.

Tabel 7. Perbandingan Karakteristik Operasional Sebelum dan Sesudah Inovasi

Aspek Operasional	Kondisi Sebelum Inovasi (Sistem Manual)	Kondisi Setelah Inovasi (Sistem Terintegrasi)
Metode Verifikasi	Pencocokan fisik dokumen dan visual	Pemindaian <i>QR Code</i> otomatis
Waktu Proses	Lambat dan tidak konsisten (estimasi >10 detik/penumpang)	Cepat dan terstandarisasi (<2 detik/penumpang)
Akurasi Data	Rentan <i>human error</i> pada pencatatan	Validasi otomatis terhadap basis data pusat
Visibilitas Data	Tertunda (laporan manual setelah proses selesai)	<i>Real-time</i> melalui <i>dashboard monitoring</i>

Dampak paling signifikan dari sistem ini adalah pergeseran filosofi manajemen dari yang semula bersifat reaktif menjadi proaktif. Dalam model operasional lama, manajemen hanya dapat bertindak setelah masalah terjadi dan dilaporkan. Dengan *dashboard monitoring*, manajemen kini memiliki visibilitas *real-time* terhadap alur penumpang di setiap gerbang. Penurunan laju penumpang yang tidak wajar pada suatu penerbangan dapat terdeteksi secara instan, berfungsi sebagai sistem peringatan dini (*early warning system*). Hal ini memungkinkan manajer untuk segera mengidentifikasi dan mengatasi potensi kendala sebelum berkembang menjadi krisis yang mengganggu jadwal penerbangan. Kemampuan ini mengubah *dashboard* dari sekadar alat pemantau menjadi instrumen *Business Intelligence* (BI) yang mendukung pengambilan keputusan berbasis data, sejalan dengan konsep *performance dashboards* yang bertujuan mendorong perubahan positif dalam organisasi.

Lebih jauh, sistem ini memungkinkan optimisasi alokasi sumber daya berbasis data. Dengan mengumpulkan data historis waktu pemindaian, manajemen dapat menganalisis pola kedatangan penumpang untuk berbagai penerbangan (pagi vs. malam, hari kerja vs. akhir pekan). Wawasan ini dapat digunakan untuk menerapkan model alokasi staf yang dinamis, menempatkan lebih banyak petugas di gerbang yang diprediksi akan mengalami kepadatan, sehingga meningkatkan efisiensi dan mencegah pemborosan sumber daya. Pada akhirnya, semua peningkatan efisiensi ini bermuara pada peningkatan pengalaman penumpang (*passenger experience*). Pengurangan waktu tunggu dan kepadatan secara langsung berkontribusi pada perjalanan yang lebih lancar dan bebas stres, yang terbukti memiliki korelasi positif dengan kepuasan dan loyalitas penumpang.

Inovasi ini juga merupakan implementasi konkret dari prinsip-prinsip *Smart Airport*. Sistem ini mengadopsi otomatisasi proses, pemanfaatan perangkat *mobile*, dan pengambilan keputusan berbasis data, yang merupakan pilar fundamental dari bandara cerdas. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menyelesaikan masalah operasional lokal tetapi juga menempatkan Bandara Soekarno-Hatta pada lintasan yang sejalan dengan praktik terbaik global dalam modernisasi bandara.

Arsitektur *client-server* yang diimplementasikan dapat dipandang sebagai pendekatan monolitik modular yang pragmatis. Pilihan ini secara sadar menghindari kompleksitas operasional dan potensi latensi jaringan yang sering dikaitkan dengan arsitektur *microservices*, sejalan dengan temuan evaluasi kinerja yang menunjukkan bahwa pendekatan monolitik dapat menawarkan keunggulan performa dalam skenario tertentu. Sebuah pertimbangan strategis yang juga tercermin dalam tren industri di mana beberapa organisasi memilih untuk kembali ke arsitektur monolitik untuk menghindari biaya dan kompleksitas operasional yang berlebihan.

Keberhasilan pengembangan aplikasi *mobile* yang responsif dan konsisten secara visual didukung oleh pemilihan kerangka kerja Flutter. Pilihan ini sejalan dengan tren industri yang mengadopsi Flutter untuk mempercepat waktu peluncuran produk ke pasar dan mengurangi biaya pengembangan lintas platform, yang sangat relevan untuk implementasi di lingkungan operasional yang dinamis seperti bandara.

Meskipun sistem yang diusulkan menawarkan manfaat signifikan, implementasi dalam skala penuh tidak lepas dari tantangan. Studi kasus penerapan *autogate* imigrasi di Bandara Soekarno-Hatta mengidentifikasi beberapa kendala

praktis yang relevan. Pertama, ketergantungan pada infrastruktur jaringan (Wi-Fi atau seluler) di seluruh area terminal menjadi krusial. Gangguan konektivitas dapat menghentikan operasi dan memaksa kembali ke metode manual. Kedua, potensi kendala teknis seperti *bug* perangkat lunak atau variasi kualitas kamera antar perangkat *mobile* perlu dimitigasi, terutama mengingat tantangan dalam pembacaan *QR Code* pada kondisi batas (*borderline cases*) yang dipengaruhi oleh resolusi, keburaman (*blur*), dan jarak pemindaian. Terakhir, adopsi teknologi baru oleh seluruh staf lapangan memerlukan program manajemen perubahan yang terstruktur, mencakup pelatihan yang efektif dan penyusunan Prosedur Operasi Standar (SOP) yang jelas untuk menangani berbagai skenario, termasuk saat terjadi kegagalan sistem. Pengakuan terhadap tantangan ini penting untuk merumuskan strategi implementasi yang matang dan sukses.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang, membangun, dan mengevaluasi sebuah sistem terintegrasi untuk pemindaian *boarding pass* otomatis berbasis *mobile* dan monitoring data penumpang berbasis *dashboard*. Melalui pengujian fungsional dan struktural yang komprehensif, sistem terbukti mampu menjawab permasalahan utama terkait inefisiensi, potensi *human error*, dan ketiadaan visibilitas data *real-time* yang melekat pada proses verifikasi manual di Bandara Internasional Soekarno-Hatta. Aplikasi *mobile* secara signifikan mempercepat proses validasi penumpang di gerbang keberangkatan, sementara *dashboard web* menyediakan kapabilitas pemantauan dan analisis data secara langsung bagi manajemen. Inovasi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional dan akurasi data, tetapi juga memfasilitasi pergeseran fundamental menuju model manajemen bandara yang proaktif dan berbasis data, sejalan dengan prinsip *Smart Airport*. Sistem yang diusulkan secara langsung menjawab atribut-atribut kunci yang menentukan kepuasan penumpang di era bandara pintar, seperti efisiensi proses dan pengurangan waktu tunggu, yang pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan pengalaman penumpang secara keseluruhan. Kontribusi penelitian ini adalah penyediaan sebuah cetak biru teknologi yang fleksibel, terukur, dan tervalidasi secara empiris sebagai solusi untuk tantangan operasional di bandara modern. Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan untuk mengimplementasikan arsitektur *offline-first* pada aplikasi *mobile* guna meningkatkan keandalan sistem saat koneksi internet tidak stabil, serta menjajaki integrasi dengan teknologi verifikasi biometrik. Selain itu, arsitektur sistem dapat dievolusikan untuk mengadopsi pola-pola integrasi data *real-time* yang lebih canggih untuk mendukung analisis prediktif dan otomatisasi keputusan manajerial di masa depan.

REFERENCES

- [1] International Air Transport Association, "Outlook for the global airline industry – April 2021 update," *IATA Econ.*, [Online]. Available: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/airline-industry-economic-performance---april-2021---report/>
- [2] A. S. Ni Kadek Ratna Dewi, "Pengaruh Keterlambatan Penerbangan Terhadap Kepuasan Penumpang pada Maskapai Super Air Jet di Bandar Udara Internasional Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggan Balikpapan," *J. Transform. Bisnis Digit.*, no. 1, pp. 1–17, 2025.
- [3] A. Editors and E. R. Board, "International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology," *Int. J. Serv. Sci. Manag. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 2, 2019.
- [4] S. Moghadas Nian, "Digital Transformation and AI in Airline Management: Aligning Agility, Innovation, and Data-Driven Strategies," *3rd Int. Conf. Recent Adv. Eng. Technol. Brussels, Belgium*, vol. 10, no. July, 2025.
- [5] G. Indonesia, "Garuda Priority Service: Making Every Step of Your Journey Special," *Garuda Indones.*, [Online]. Available: <https://www.garuda-indonesia.com/oc/en/special-offers/sales-promotion/ancillary/garudapriorityservice>
- [6] R. Ardimas Wulyo Raharjo and M. Erawan Destyana, "Kajian Penerapan Automatic Gate Boarding Pass Scanner Guna Meningkatkan Level of Service Area Pots Bandar Udara Internasional Yohyakarta," *Semin. Nas. Inov. Teknol. Penerbangan*, pp. 1–8, 2023.
- [7] M. Baláz, K. Kováčiková, J. Vaculík, and M. Kováčiková, "A Smart Airport Mobile Application Concept and Possibilities of Its Use for Predictive Modeling and Analysis," *Aerospace*, vol. 10, no. 7, 2023, doi: 10.3390/aerospace10070588.
- [8] B. Hanantyo and T. D. Susanto, "Kajian Potensi Penerapan Teknologi Smart Airport di Bandara Internasional Soekarno-Hatta Jakarta Indonesia," *is Best Account. Inf. Syst. Inf. Technol. Bus. Enterp. this is link OJS us*, vol. 7, no. 1, pp. 61–75, 2022, doi: 10.34010/aisthebest.v7i1.7123.
- [9] A. G. Spatioti, I. Kazanidis, and J. Pange, "A Comparative Study of the ADDIE Instructional Design Model in Distance Education," *Inf.*, vol. 13, no. 9, pp. 1–20, 2022, doi: 10.3390/info13090402.
- [10] O. C. Falode, K. Dome, E. J. Chukwuemeka, and M. E. Falode, "Development of an Interactive Mobile

- Application for Learning Undergraduate Educational Technology Concepts,” *Int. J. Prof. Dev. Learn. Learn.*, vol. 4, no. 1, p. ep2204, 2022, doi: 10.30935/ijpdll/12009.
- [11] M. Tollin, G., & Lidekrans, “React Native vs. Flutter: A performance comparison between cross-platform mobile application development frameworks.,” *Linköping Univ. Electron. Press*, 2023, [Online]. Available: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-195975>
- [12] I. (2014). Al-Refaie, A., Bata, N., Eteiw, D., & Jalham, “Examining factors that affect passenger’s overall satisfaction and loyalty: Evidence from Jordan airport,” *Jordan J. Mech. Ind. Eng.*, vol. 8, pp. 94–101, 2014.
- [13] J. Ofoeda, J.; Boateng, R.; Effah, “Application Programming Interface (API) Research: A Review of the Past to Inform the Future,” *Int. J. Enterp. Inf. Syst.*, vol. 15, no. 3, pp. 76–95, 2019, doi: <https://doi.org/10.4018/IJEIS.2019070105>.
- [14] Y. J. Xin, W. Zhong, and L. Hong, “Smart Gate System Design and Implementation Based on Cloud Platform,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 154, pp. 40–46, 2018, doi: 10.1016/j.procs.2019.06.008.
- [15] M. Hidayat, “Perancangan Dashboard Untuk Visualisasi Data Jumlah Penumpang Transjakarta,” *Insantek*, vol. 4, no. 1, pp. 32–36, 2023, doi: 10.31294/insantek.v4i1.2222.