

Implementasi Liveness Face Recognition dan Fake GPS Detection pada Sistem Presensi Pegawai Berbasis Web

Naufal Septrio Akbar¹, Edi Saputra², Willy Bima Alfajri³

^{1,2,3}Universitas Jambi

Jalan Jambi-Muara Bulian Km 15, Mendalo Indah, Kec. Jambi Luar Kota, Kab. Muaro Jambi, Jambi, Indonesia
e-mail: ¹naufalseptrioakbar557@gmail.com, ²edisaputra@unja.ac.id, ³willybima.alfajri@unja.ac.id

Abstrak - Pengelolaan kehadiran pegawai kontrak di Bandar Udara Sultan Thaha Jambi masih bergantung pada mesin *fingerprint* terpusat dan rekapitulasi manual, yang menimbulkan ketidakefisienan waktu, risiko kesalahan manusia, serta minimnya transparansi. Meskipun sistem presensi berbasis web mulai diadopsi di beberapa instansi, celah keamanan seperti serangan foto statis (*photo replay*) dan pemalsuan lokasi (*GPS spoofing*) masih rentan terjadi. Penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem informasi manajemen penjadwalan dan kehadiran berbasis web yang mengimplementasikan mekanisme validasi berlapis, yaitu *Liveness Face Recognition* dan *Fake GPS Detection*. Metode pengembangan yang digunakan adalah *Prototype* untuk memastikan kesesuaian sistem melalui umpan balik iteratif. Validasi wajah dilakukan menggunakan mekanisme *challenge-response* dan perhitungan *Euclidean Distance* berbasis *face-api.js*. Sementara itu, deteksi *Fake GPS* dianalisis menggunakan konsep *Sliding Window Buffer* (lima titik koordinat) dan Rumus *Haversine* untuk memvalidasi radius *geofencing*. Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa seluruh skenario fungsional berjalan sesuai kebutuhan. Pada pengujian non-fungsional, sistem berhasil mengamankan data, menjaga integritas data, dan kompatibel di berbagai perangkat. Kendala awal pada waktu muat halaman berhasil dioptimalkan menjadi ≤ 5 detik melalui penerapan teknik *Lazy Loading* dan *Service Worker Caching*. Sistem ini terbukti efektif meningkatkan akurasi, transparansi, dan keamanan presensi pegawai.

Kata Kunci : Sistem Presensi, *Liveness Face Recognition*, *Fake GPS Detection*

Abstracts - Employee attendance management for contract staff at Sultan Thaha Jambi Airport still relies on a centralized fingerprint machine and manual recapitulation, causing time inefficiency, human error risks, and minimal transparency. Although web-based attendance systems are being adopted, security loopholes such as static photo attacks and location falsification remain vulnerable. This study proposes the development of a web-based scheduling and attendance management information system that implements a layered validation mechanism, namely *Liveness Face Recognition* and *Fake GPS detection*. The development method used is the *Prototype* method to ensure system suitability through iterative feedback. Face validation is performed using a *challenge-response* mechanism and *Euclidean Distance* calculation based on *face-api.js*. Meanwhile, *Fake GPS* detection is analyzed using the *Sliding Window Buffer* concept and the *Haversine Formula* to validate the *geofencing* radius. System testing results show that all functional scenarios run according to requirements. In non-functional testing, the system successfully secures data, maintains data integrity, and is compatible across various devices. Initial constraints on page load time were successfully optimized to ≤ 5 seconds through the implementation of *Lazy Loading* and *Service Worker Caching* techniques. This system is proven effective in improving the accuracy, transparency, and security of employee attendance.

Keywords : Attendance System, *Liveness Face Recognition*, *Fake GPS Detection*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi yang pesat telah mendorong organisasi untuk mengoptimalkan pengelolaan sumber daya manusia melalui sistem yang lebih terintegrasi dan berbasis digital. Salah satu aspek krusial dalam manajemen sumber daya manusia adalah pengelolaan kehadiran, yang menjadi indikator utama kedisiplinan dan efisiensi operasional. Penelitian oleh Jamaluddin et al. (2024) dan Hartono et al. (2024) menunjukkan bahwa penerapan sistem presensi digital berkontribusi signifikan terhadap peningkatan akurasi, efisiensi, dan produktivitas SDM. Namun, sistem presensi tradisional seperti pencatatan manual atau penggunaan



mesin *fingerprint* terpusat yang tidak terhubung jaringan seringkali menghadirkan kendala, seperti potensi manipulasi data dan keterlambatan rekapitulasi (Ramadhan & Sutisna, 2021; Darmawan et al., 2024).

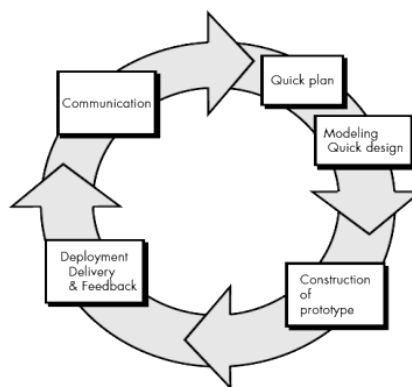
Kondisi serupa ditemukan pada proses presensi pegawai kontrak di Bandar Udara Sultan Thaha Jambi. Berdasarkan observasi, proses presensi masih bergantung pada satu mesin *fingerprint* terpusat yang menyebabkan ketidakefisienan waktu dan mobilitas. Selain itu, rekapitulasi data bulanan dilakukan secara manual menggunakan *flashdisk* dan *spreadsheet*, yang rentan terhadap *human error* dan manipulasi data. Meskipun sistem presensi digital berbasis *web* mulai diadopsi di berbagai instansi (Nurliani et al., 2025; Arifin et al., 2024), terdapat celah keamanan yang berpotensi dimanipulasi, seperti pegawai yang melakukan presensi menggunakan foto dari layar (*screen replay attack*) (Setyawan et al., 2024) atau memalsukan koordinat lokasi menggunakan aplikasi *GPS spoofing* seperti *Fake GPS* (Basurah et al., 2023; Mughni & Devi, 2023; Zharkov et al., 2023).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan implementasi sistem informasi manajemen penjadwalan dan kehadiran berbasis *web* yang dilengkapi dengan validasi berlapis. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang hanya mengandalkan *GPS* dan swafoto biasa, penelitian ini mengintegrasikan *Liveness Face Recognition* berbasis *face-api.js* untuk memastikan keaslian wajah secara *real-time* melalui mekanisme *challenge-response* (Basurah et al., 2023). Selain itu, sistem menerapkan mekanisme deteksi *Fake GPS* dengan menganalisis pola anomali dari lima titik koordinat terakhir (*Sliding Window Buffer*) dan memvalidasi radius lokasi menggunakan rumus *Haversine* untuk membedakan lokasi asli dan lokasi palsu.

Nilai Utama dari penelitian ini terletak pada kombinasi mekanisme deteksi *liveness* yang ringan di sisi klien (*client-side*) dan analisis pola lokasi di sisi server (*server-side*), yang secara efektif memitigasi dua bentuk kecurangan presensi digital yang paling umum. Tujuan penelitian ini adalah mengimplementasikan dan menguji sistem tersebut menggunakan metode *Prototype* dan *System Testing*, sehingga dapat menghasilkan solusi presensi yang tidak hanya efisien dan transparan, tetapi juga memiliki tingkat keamanan tinggi terhadap manipulasi data kehadiran di lingkungan bandara.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di PT Angkasa Pura Indonesia Kantor Cabang Bandar Udara Sultan Thaha Jambi dengan objek penelitian berupa sistem manajemen penjadwalan dan kehadiran pegawai kontrak. Penelitian ini menggunakan metode *Prototype* untuk mengembangkan sistem secara iteratif, yang memungkinkan penyempurnaan berkelanjutan berdasarkan umpan balik langsung dari pengguna (Ananda et al., 2025; Pricillia & Zulfachmi, 2021). Metode *Prototype* terdiri dari lima tahapan utama seperti pada Gambar 1, yaitu *communication*, *quick plan*, *modelling quick design*, *construction of prototype*, serta *deployment, delivery and feedback*. Pada tahap *communication* dilakukan pengumpulan kebutuhan sistem melalui observasi dan wawancara dengan pengguna. Tahap *quick plan* digunakan untuk menentukan ruang lingkup dan modul utama sistem. Selanjutnya pada tahap *modelling quick design* disusun rancangan sistem menggunakan diagram *UML* dan perancangan basis data. Tahap *construction of prototype* berfokus pada implementasi sistem berbasis *web*, sedangkan tahap *deployment, delivery and feedback* dilakukan untuk memperoleh umpan balik pengguna dan menyempurnakan sistem secara iteratif.



Sumber: Pressman & Maxim (2015)

Gambar 1. Model *Prototype*

1. Arsitektur Sistem

Sistem dikembangkan menggunakan arsitektur *client-server* berbasis *web*. Antarmuka pengguna dibangun menggunakan *React.js* dan *Tailwind CSS*, sedangkan layanan *backend* dikembangkan menggunakan *Node.js* dan *Express.js*. Penyimpanan data menggunakan *MySQL* sebagai basis data utama. Sistem memiliki dua aktor utama, yaitu admin dan pegawai. Admin bertugas mengelola data pegawai, jadwal kerja, lokasi presensi, serta melakukan monitoring data kehadiran. Pegawai dapat mengakses jadwal kerja, melakukan presensi masuk dan pulang, serta melihat riwayat kehadiran melalui perangkat pribadi.

2. Implementasi *Liveness Face Recognition*

Validasi identitas pada sistem dilakukan menggunakan metode *liveness face recognition* yang menggabungkan *liveness detection* dan *face recognition*. Implementasi dilakukan menggunakan *library face-api.js* yang memanfaatkan model *Tiny Face Detector*, *Face Landmark Detection*, dan *Face Recognition Network*. Proses validasi diawali dengan aktivasi kamera perangkat untuk menangkap citra wajah secara *real-time*. Sistem kemudian mendeteksi wajah dan mengekstraksi landmark wajah. Selanjutnya pengguna diminta melakukan *challenge-response* berupa gerakan tertentu, seperti membuka mulut atau berkedip. *Respons* pengguna dianalisis berdasarkan perubahan landmark wajah untuk memastikan keberadaan pengguna secara langsung di depan kamera. Setelah proses *liveness* berhasil, sistem menghasilkan *face descriptor* dan membandingkannya dengan data wajah yang tersimpan menggunakan perhitungan *Euclidean Distance*. Presensi hanya dapat dilakukan apabila kedua proses validasi tersebut berhasil.

3. Implementasi *Fake GPS Detection*

Validasi lokasi dilakukan menggunakan kombinasi *geolocation*, *geofencing*, dan analisis pola koordinat untuk mendeteksi indikasi *GPS spoofing*. Sistem memperoleh data lokasi melalui *Geolocation API* dengan mekanisme *continuous monitoring* menggunakan fungsi *watchPosition()*. Koordinat yang diperoleh disimpan sementara dalam *buffer* berukuran lima titik menggunakan metode *sliding window*. Setelah validasi wajah berhasil, sistem menganalisis pola koordinat berdasarkan kestabilan posisi, konsistensi nilai akurasi *GPS*, serta pola perpindahan lokasi. Selain itu, jarak antara lokasi pengguna dan titik presensi dihitung menggunakan algoritma *Haversine* untuk memastikan pengguna berada dalam radius yang telah ditentukan (Hasanah & Suharso, 2023). Presensi ditolak apabila terdeteksi pola lokasi yang mengindikasikan manipulasi atau posisi pengguna berada di luar area *geofencing*.

4. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan menggunakan pendekatan *System Testing* yang terdiri atas pengujian fungsional dan non-fungsional (Pressman & Maxim, 2015; Sommerville, 2016). Pengujian fungsional bertujuan memverifikasi seluruh fitur utama sistem, meliputi autentikasi pengguna, pengelolaan jadwal, proses presensi, validasi *liveness face recognition*, serta validasi *fake GPS detection*. Pengujian non-fungsional difokuskan pada aspek keamanan, kinerja, kompatibilitas, dan integritas data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. *Communication*

Pada tahap *communication* dilakukan identifikasi kebutuhan sistem melalui observasi dan wawancara dengan pihak terkait di PT Angkasa Pura Indonesia Kantor Cabang Bandar Udara Sultan Thaha Jambi. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa proses presensi pegawai kontrak masih menggunakan mesin *fingerprinth* terpusat yang tidak terhubung ke jaringan sehingga menimbulkan beberapa kendala, seperti keterbatasan akses presensi, proses rekapitulasi yang kurang efisien, serta belum tersedianya mekanisme validasi lokasi dan identitas yang memadai.

Berdasarkan hasil analisis, kebutuhan fungsional sistem dikelompokkan menjadi dua aktor utama, yaitu pegawai dan admin. Pegawai membutuhkan fitur autentikasi, presensi masuk dan pulang berbasis validasi wajah dan lokasi, akses jadwal kerja, riwayat kehadiran, notifikasi proses presensi, serta pengelolaan profil pribadi. Sementara itu, admin membutuhkan fitur pengelolaan data pegawai, unit kerja, jadwal shift, lokasi presensi, monitoring kehadiran, koreksi data presensi, pengelolaan akun pengguna, serta pembuatan laporan kehadiran. Selain kebutuhan fungsional, sistem juga harus memenuhi kebutuhan non-fungsional yang meliputi aspek keamanan, kinerja, kompatibilitas dan integritas data.

2. *Quick Plan*

Berdasarkan kebutuhan yang telah diidentifikasi, dilakukan perencanaan awal terhadap ruang lingkup sistem yang akan dikembangkan. Sistem dirancang menggunakan arsitektur *client-server* berbasis *web* dengan dua aktor utama yaitu admin dan pegawai. Modul utama yang direncanakan meliputi Modul Autentikasi dan Keamanan, Modul Presensi dan Validasi, Modul Manajemen Data Master, Modul Manajemen Jadwal, Modul Modul Rekapitulasi dan Koreksi, Modul Modul Log Aktivitas, Modul Modul Profil dan Riwayat Pegawai. Perencanaan ini menjadi dasar dalam penyusunan rancangan sistem dan implementasi prototipe pada tahap berikutnya.

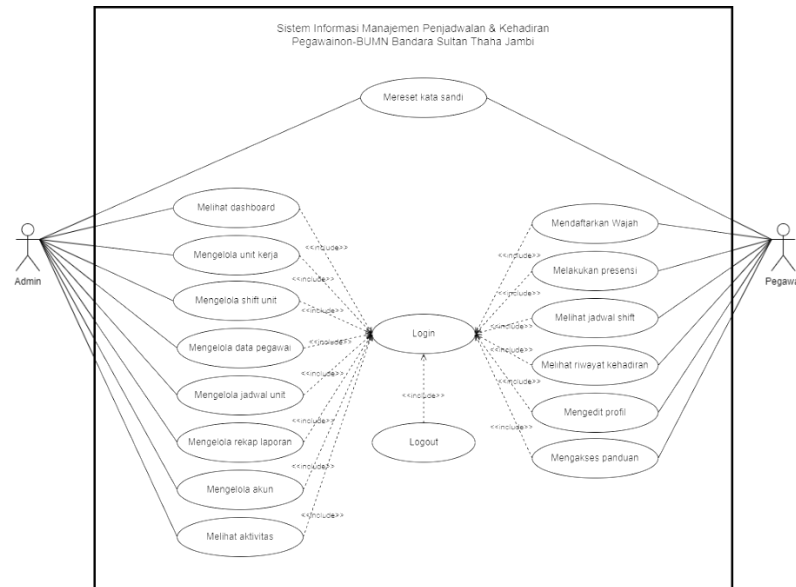
3. *Modelling Quick Design*

Tahap *modelling quick design* menghasilkan rancangan sistem yang digunakan sebagai acuan implementasi. Rancangan tersebut meliputi *Use Case Diagram*, *Class Diagram*, dan *Entity Relationship Diagram (ERD)*.

a. Use Case Diagram

Berikut adalah hasil rancangan desain Use case diagram yang menunjukkan bahwa setiap fitur dalam

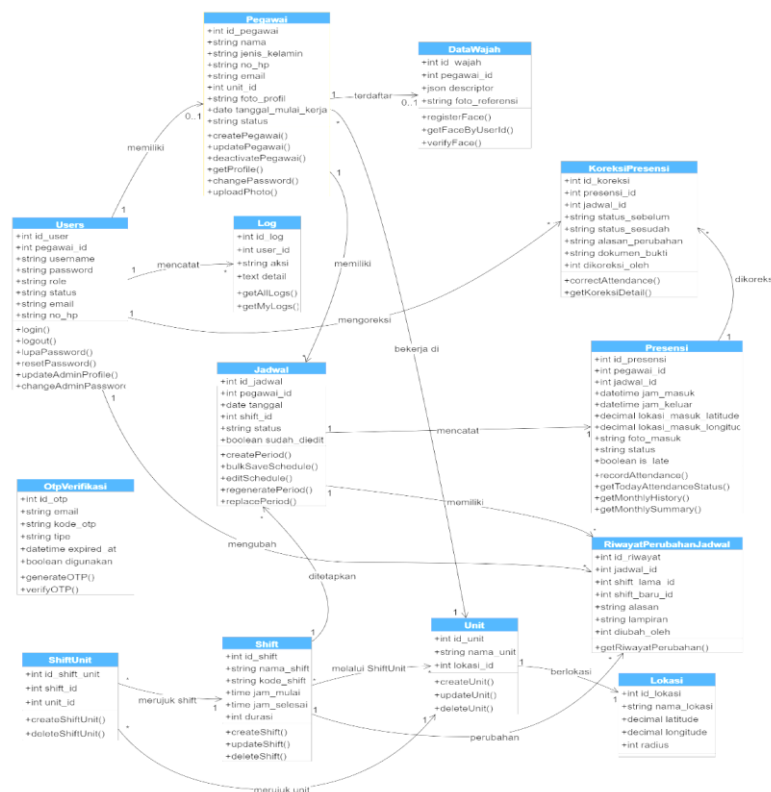
sistem hanya dapat diakses setelah pengguna melakukan login terlebih dahulu.



Gambar 2. *Use Case Diagram.*

b. Class Diagram

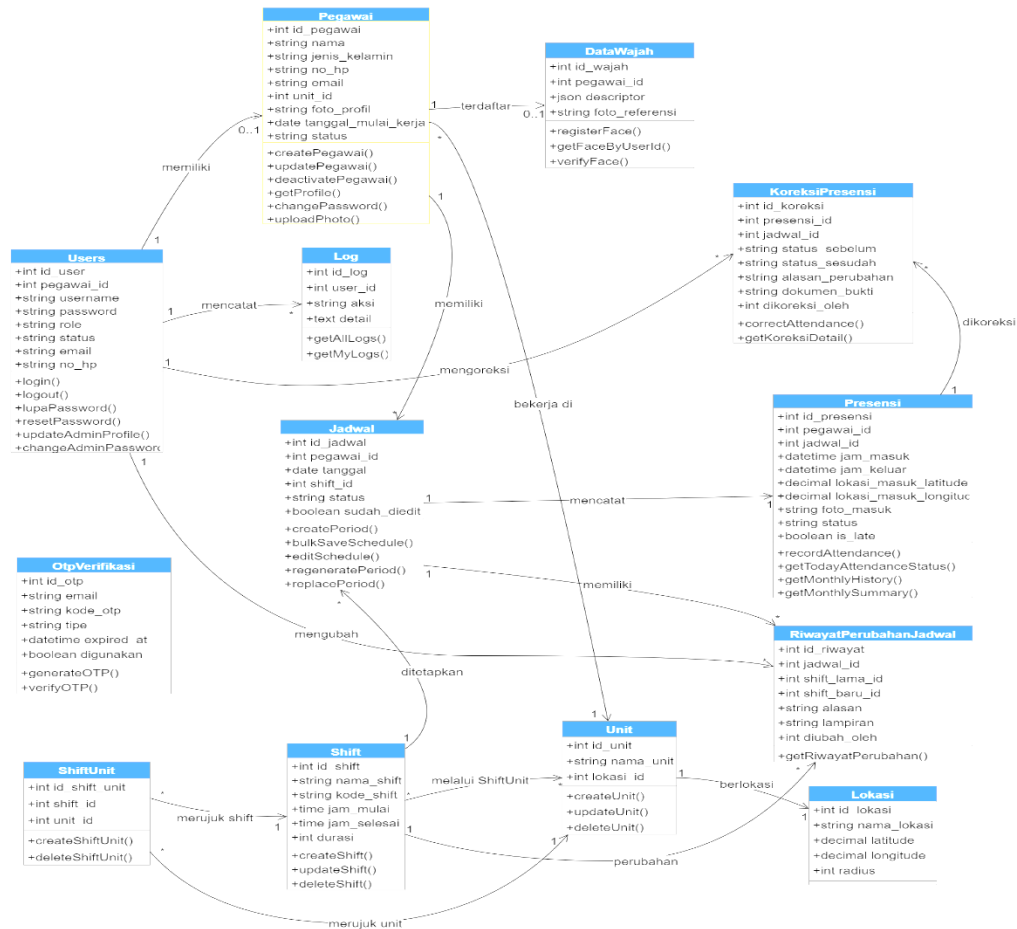
Berikut adalah hasil rancangan class diagram yang menunjukkan struktur kelas yang digunakan dalam sistem beserta hubungan antar entitas yang mendukung proses bisnis presensi.



Gambar 3. *Class Diagram.*

c. Entity Relationship Diagram (ERD)

Berikut adalah hasil rancangan ERD yang digunakan untuk merancang struktur basis data untuk menyimpan data pegawai, jadwal kerja, presensi, lokasi, dan data pendukung lainnya.



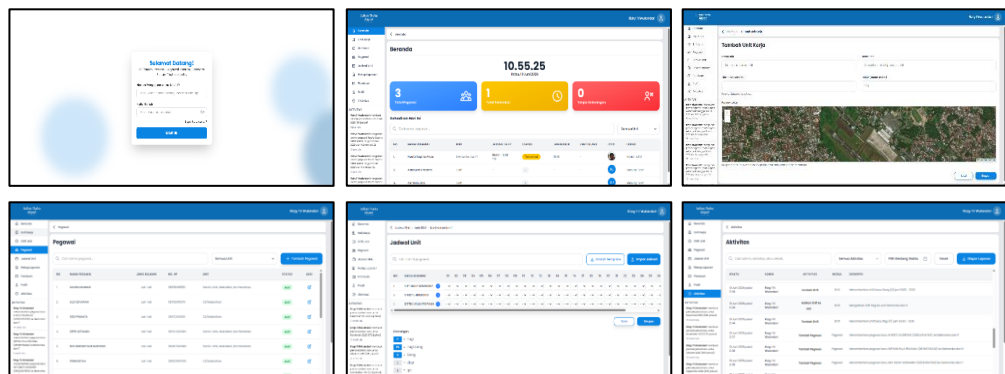
Gambar 4. *Entity Relationship Diagram (ERD).*

4. Construction of Prototype

Pada tahap ini proses pengembangan akan menghasilkan implementasi sistem berbasis web sesuai rancangan yang telah dibuat pada tahapan tahapan sebelumnya.

a. Implementasi Sistem

Sistem dikembangkan menggunakan *React.js* dan *Tailwind CSS* pada sisi *frontend* serta *Node.js*, *Express.js*, dan *MySQL* pada sisi backend. Berikut ditampilkan beberapa hasil implementasi antarmuka yang telah dilakukan

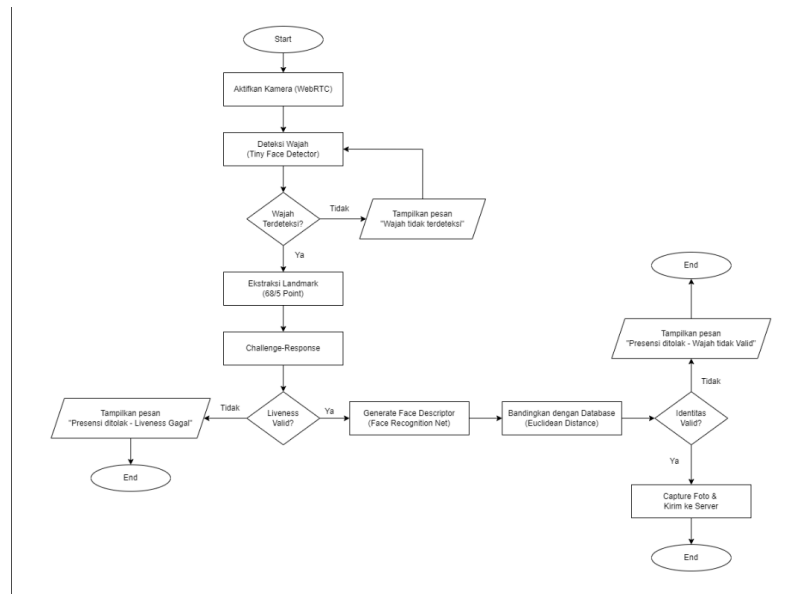


Gambar 5. Implementasi Sistem.

b. Implementasi *Liveness Face Recognition*

Validasi identitas dilakukan menggunakan *face-api.js* yang mengintegrasikan *Tiny Face Detector*, *Face Landmark Detection*, dan *Face Recognition Network*. Proses dimulai dengan deteksi wajah secara *real-time*, dilanjutkan dengan *challenge-response* berupa instruksi membuka mulut atau berkedip. Setelah

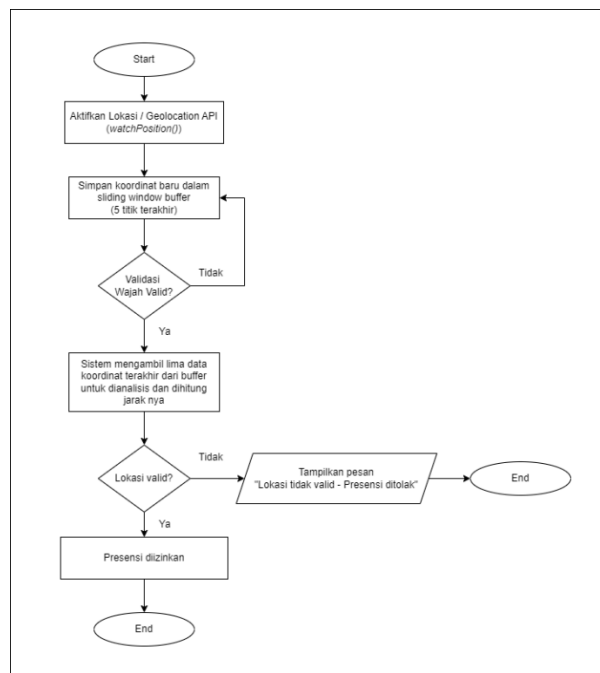
liveness berhasil diverifikasi, sistem melakukan pencocokan *descriptor* wajah terhadap data yang tersimpan pada basis data menggunakan *Euclidean Distance*. Berikut merupakan alur mekanisme dari validasi *Liveness Face Recognition* yang diimplementasikan



Gambar 6. Alur *Liveness Face Recognition* yang Diimplementasikan.

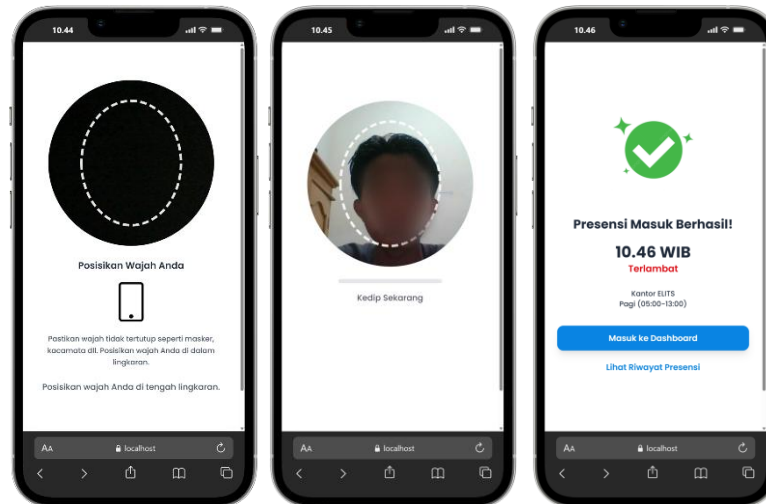
c. Implementasi *Fake GPS Detection*

Validasi lokasi dilakukan menggunakan *Geolocation API* dengan mekanisme *watchPosition()*. Sistem menyimpan lima koordinat terakhir dalam *buffer* dan menganalisis pola lokasi untuk mendeteksi indikasi *GPS spoofing* sebelum menghitung jarak menggunakan algoritma *Haversine*. Berikut merupakan alur mekanisme dari validasi *Fake GPS Detection* yang diimplementasikan



Gambar 7. Alur *Fake GPS Detection* yang Diimplementasikan.

Untuk gambaran lebih jelasnya, berikut adalah tampilan dari halaman presensi yang menerapkan kedua validasi tersebut :



Gambar 8. Halaman Proses Melakukan Presensi.

5. Deployment, Delivery and Feedback

Pada tahap ini, prototipe *website* sistem yang telah dibangun diserahkan kepada perwakilan pengguna, yang terdiri dari 1 orang admin dan 4 orang pegawai, untuk dievaluasi secara langsung. Tujuan utama tahap ini adalah memperoleh umpan balik (*feedback*) mengenai kesesuaian fungsionalitas sistem dengan kebutuhan operasional, serta mengidentifikasi aspek yang memerlukan penyempurnaan melalui pengujian sistem (*System Testing*).

a. Pengujian Fungsional

Berikut adalah rangkuman hasil pengujian fungsional sistem yang telah dilakukan dengan menggunakan format test case:

Tabel 1. Rangkuman Pengujian Fungsional

Kode TC.	Nama Pengujian	Aktor	Deskripsi Skenario Utama	Status
TC-01	Login Sistem	Admin, Pegawai	Menguji autentikasi dengan kredensial <i>valid</i> , <i>invalid</i> , akun nonaktif, dan input kosong.	Lulus
TC-02	Lupa Kata Sandi	Admin, Pegawai	Menguji pengiriman <i>OTP</i> , verifikasi <i>OTP</i> , reset kata sandi, dan <i>rate limiting</i> .	Lulus
TC-03	Registrasi Wajah	Pegawai	Menguji deteksi wajah, ekstraksi <i>descriptor</i> , dan penyimpanan data <i>biometrik</i> .	Lulus
TC-04	Presensi Masuk	Pegawai	Menguji validasi <i>Liveness</i> , <i>Face Recognition</i> , <i>Geofencing</i> , dan <i>Anti-Fake GPS</i> .	Lulus
TC-05	Presensi Pulang	Pegawai	Menguji alur <i>check-out</i> , validasi waktu, dan validasi wajah/lokasi.	Lulus
TC-06	Melihat Jadwal Shift	Pegawai	Menguji tampilan daftar jadwal shift bulanan beserta detail lokasi.	Lulus
TC-07	Riwayat Presensi	Pegawai	Menguji tampilan riwayat presensi dengan filter periode dan status kehadiran.	Lulus
TC-08	Profil Pegawai	Pegawai	Menguji tampilan data diri dan fitur unggah/hapus foto profil.	Lulus
TC-09	Ubah Sandi Pegawai	Pegawai	Menguji validasi kata sandi lama dan pembaruan kata sandi baru.	Lulus
TC-10	Dashboard Admin	Admin	Menguji tampilan kartu ringkasan statistik dan tabel aktivitas real-time.	Lulus
TC-11	Kelola Unit Kerja	Admin	Menguji <i>CRUD</i> unit kerja beserta koordinat geofencing.	Lulus
TC-12	Kelola Shift Unit	Admin	Menguji <i>CRUD</i> master data shift dan pengaitan ke unit kerja.	Lulus
TC-13	Kelola Data Pegawai	Admin	Menguji <i>CRUD</i> data pegawai, pembuatan akun otomatis, dan penonaktifan.	Lulus

TC-14	Kelola Jadwal Unit	Admin	Menguji pembuatan periode, impor <i>Excel</i> , dan pengeditan jadwal manual.	Lulus
TC-15	Rekap & Koreksi	Admin	Menguji matriks rekap, koreksi status presensi, dan ekspor PDF/Excel.	Lulus
TC-16	Aktivitas Sistem	Admin	Menguji tampilan <i>log</i> aktivitas, fitur filter, dan ekspor <i>log</i> .	Lulus
TC-17	Profil Admin	Admin	Menguji pembaruan data profil dan perubahan kata sandi admin.	Lulus

Berdasarkan Tabel 1, seluruh 17 skenario pengujian fungsional yang diujikan oleh 5 perwakilan pengguna (1 admin dan 4 pegawai) dinyatakan Lulus (Valid). Hal ini menunjukkan bahwa seluruh fungsional fitur utama sistem telah berjalan sesuai dengan hasil yang diharapkan dan tidak ditemukan *error* fungsional yang menghambat alur kerja pengguna.

b. Pengujian Non-Fungsional

Pengujian non-fungsional difokuskan pada empat aspek yang relevan dengan lingkungan pengembangan (*development environment*), yaitu:

1) Keamanan (*Security*)

Pengujian menggunakan *Thunder Client* menunjukkan bahwa *endpoint API* mengembalikan status *HTTP 401 Unauthorized* atau *403 Forbidden* jika diakses tanpa token *JWT* atau oleh *role* yang tidak berhak. Data *password* di basis data juga terverifikasi tersimpan dalam bentuk hash menggunakan algoritma *bcrypt*.

2) Kinerja (*Performance*)

Waktu pemrosesan presensi (dari aktivasi kamera hingga notifikasi sukses) berhasil dicapai dalam waktu ≤ 15 detik. Namun, pada pengujian awal, waktu muat (*loading time*) halaman presensi tercatat > 5 detik, terutama pada simulasi jaringan lambat, karena proses pemuatan tiga model AI *face-api.js* yang berukuran besar secara bersamaan. Namun setelah dilakukannya perbaikan dengan menerapkan *Lazy Loading* dan *Service Worker Caching*, pengujian ulang dilakukan pada simulasi jaringan Slow 4G dan menunjukkan bahwa perbaikan ini berhasil menurunkan waktu muat halaman presensi menjadi ≤ 5 detik, sehingga memenuhi standar kinerja yang telah ditetapkan.

3) Kompatibilitas (*Compatibility*)

Berdasarkan hasil pengujian, sistem berhasil ditampilkan secara responsif dan berfungsi dengan baik pada berbagai browser (Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge) serta menyesuaikan tata letak (*layout*) dengan baik pada perangkat *mobile* dan *desktop*.

4) Integritas Data (*Data Integrity*)

Berdasarkan pengujian, hasil penerapan mekanisme *state locking* pada antarmuka berhasil mencegah *double-submit* (klik ganda) saat proses presensi atau kelola data. Selain itu setiap aksi koreksi oleh admin tercatat secara otomatis dan konsisten ke dalam tabel *log* aktivitas sebagai jejak audit (*audit trail*).

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, sistem berhasil dikembangkan sesuai kebutuhan pengguna. Seluruh fitur utama sistem dapat berjalan dengan baik, termasuk validasi identitas menggunakan *liveness face recognition* serta validasi lokasi menggunakan *fake GPS detection* dan *geofencing*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mendukung proses presensi pegawai secara lebih efektif dan aman.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem informasi manajemen penjadwalan dan kehadiran berbasis web untuk pegawai kontrak di Bandar Udara Sultan Thaha Jambi menggunakan metode *Prototype*. Sistem ini secara efektif mengatasi permasalahan sentralisasi titik presensi dan rekapitulasi data manual yang rentan terhadap kesalahan manusia (*human error*) serta minimnya transparansi. Integrasi mekanisme validasi berlapis berupa *Liveness Face Recognition* dan *Fake GPS Detection* terbukti mampu menangani risiko kecurangan presensi digital, seperti serangan *photo replay* dan manipulasi koordinat lokasi, sehingga menjamin keaslian identitas dan kevalidan lokasi pegawai saat melakukan presensi. Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa seluruh skenario fungsional berjalan sesuai dengan kebutuhan pengguna. Pada aspek non-fungsional, sistem berhasil memenuhi standar keamanan, kompatibilitas lintas perangkat, dan integritas data. Kendala awal pada waktu muat halaman yang melebihi batas standar (> 5 detik) akibat pemuatan model kecerdasan buatan yang berukuran besar, berhasil

dioptimalkan secara signifikan menjadi ≤ 5 detik melalui penerapan teknik *Lazy Loading* dan *Service Worker Caching*. Penyempurnaan iteratif ini membuktikan bahwa sistem yang dihasilkan tidak hanya aman, tetapi juga responsif dan layak dioperasikan pada berbagai kondisi jaringan.

Meskipun sistem telah memenuhi tujuan penelitian, terdapat keterbatasan teknis pada mekanisme *Liveness Detection* yang saat ini masih berbasis analisis landmark wajah dua dimensi (2D). Secara teoretis, pendekatan ini masih memiliki celah kerentanan terhadap serangan *Video Replay Attack*. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya sangat disarankan untuk mengintegrasikan teknologi validasi yang lebih mutlak, seperti pemanfaatan sensor kedalaman (*3D Depth Camera* atau *LiDAR*).

REFERENSI

- Ananda, F., Siregar, Y. H., & Badri, M. (2025). Design and Prototyping of an Information System for Corporate Social and Environmental Responsibility Monitoring and Evaluation. *Bigint Computing Journal*, 3(2), 67–78. <https://doi.org/10.55537/bigint.v3i2.1166>
- Arifin, K. A., Metandi, F., & Hadiwijaya, N. A. (2024). APLIKASI ABSENSI BERBASIS GPS DAN SWAFOTO MENGGUNAKAN FRAMEWORK LARAVEL PADA PT KALTIM METHANOL INDUSTRI. *Jurnal Media Akademik (JMA)*, 2(9), 3031–5220. <https://doi.org/https://doi.org/10.62281/v2i9.749>
- Basurah, M., Swastika, W., & Kelana, O. H. (2023). IMPLEMENTATION OF FACE RECOGNITION AND LIVENESS DETECTION SYSTEM USING TENSORFLOW.JS. *JIP: Jurnal Informatika Polinema*, 9(4), 509–516. <https://doi.org/10.33795/jip.v9i4.1332>
- Darmawan, D., Hidayat, R., & Kurniawan, A. (2024). Pengembangan Sistem Absensi dan Informasi Karyawan Berbasis Web. *Buletin Ilmiah Ilmu Komputer Dan Multimedia (BIIKMA)*, 6(1), 928–933. <https://jurnalmahasiswa.com/index.php/biikma/article/view/1106>
- Hasanah, M., & Suharso, A. (2023). Algoritma Haversine pada Sistem Informasi Geografis: Tinjauan Literatur Sistematis. *NUANSA INFORMATIKA*, 17(2), 135–143. <https://doi.org/10.25134/ilkom.v17i2.10>
- Hartono, T., Henry, B. N., Nurm, S., Pasha, L., & Julianingsih, D. (2024). Importance Increasing Attendance Efficiency Accuracy with Presence System in Era Industrial Revolution 4.0. *International Journal of Cyber and IT Service Management (IJCITSM)*, 4(2), 133–142. <https://doi.org/10.34306/ijcitsm.v4i2.168>
- Jamaluddin, La Alimuda, R., & Isgunandar. (2024). Analysis of Attendance System for Discipline Enforcement of Bappeda Fakfak Employees. *International Journal of Administration and Education (IJAE)*, 1(4), 175–184. <https://doi.org/10.70188/7c40ac17>
- Mughni, M. D., & Devi, P. A. R. (2023). Implementation Of Teacher Presence System Using Mobile-Based Geofencing & Haversine Formula Methods. *Applied Technology and Computing Science Journal*, 6(1), 31–40. <https://doi.org/10.33086/atcsj.v6i1.4119>
- Nurliani, Mustafa, S. R., Supriyanto, A., Rouza, E., Antoni, R., & Muslim. (2025). Aplikasi Absensi Pegawai Berbasis Web Dinas Sosial Pemberdayaan Perempuan dan Perlindungan Anak Kabupaten Rokan Hulu. *Riau Jurnal Teknik Informatika (RJTI)*, 4(2), 369–373. <https://doi.org/10.30606/rjti.v4i2.3441>
- Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2015). *Software Engineering: A Practitioner's Approach* (8th Edition). McGraw-Hill Education.
- Pricillia, T., & Zulfachmi. (2021). Perbandingan Metode Pengembangan Perangkat Lunak (Waterfall, Prototype, RAD). *Jurnal Bangkit Indonesia*, 10(1), 6–12. <https://doi.org/10.52771/bangkitindonesia.v10i1.153>
- Ramadhan, Y. P., & Sutisna. (2021). Implementasi Sistem Absensi Karyawan Berbasis Web dengan Metode Pieces pada PT. Global Jet Commerce. *Jurnal Sosial Teknologi*, 1(8), 822–829. <https://doi.org/10.59188/jurnalsostech.v1i8.172>
- Setyawan, M. P. H., Darmawan, I. D. M. B. A., Astawa, I. G. S., & Santiyasa, I. W. (2024). Pengembangan Sistem Presensi Anti Spoofing dengan Metode Support Vector Machine. *JELIKU (Jurnal Elektronik Ilmu Komputer Udayana)*, 13(1), 179–190. <https://doi.org/10.24843/JLK.2024.v13.i01.p17>
- Sommerville, I. (2016). *Software engineering* (10th Edition). Pearson.
- Zharkov, M., Veremeenko, K., Kuznetsov, I., & Pronkin, A. (2023). Global Navigation Satellite System Spoofing Detection in Inertial Satellite Navigation Systems. *Inventions*, 8(6), 158. <https://doi.org/10.3390/inventions8060158>