

IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING KEHADIRAN SISWA BERBASIS QR CODE DENGAN VALIDASI LOKASI MENGGUNAKAN METODE HAVERSINE

Michael Winata Cahyanto, Dewi Handayani Untari Ningsih

Teknik Informatika, Universitas Stikubank Semarang

Jl. Kendeng No. 5, Semarang 50233, Indonesia

michaelwinatacahyanto@gmail.com

ABSTRAK

Pencatatan kehadiran manual di sekolah menengah atas masih menjadi praktik umum yang rentan terhadap manipulasi dan membutuhkan waktu yang tidak efisien. SMA Negeri 1 Ambarawa menghadapi permasalahan ini secara nyata, di mana metode konvensional tidak mampu mencegah kecurangan "titip absen" dan memperlambat proses rekapitulasi data. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem pencatatan kehadiran berbasis QR Code yang dikombinasikan dengan *Location Based Services* (LBS) untuk meningkatkan akurasi, keamanan, dan efisiensi pencatatan. Sistem dikembangkan menggunakan metode *Waterfall* secara bertahap dari analisis kebutuhan hingga pengujian, serta menerapkan algoritma *Haversine* untuk menghitung jarak sferis antara posisi perangkat siswa dan lokasi sekolah. Pengujian fungsional menggunakan *Black-Box Testing* pada 384 data siswa kelas XII menghasilkan tingkat keberhasilan 100% pada seluruh skenario uji. Validasi geospasial menunjukkan galat kalkulasi antara 0,00 hingga 0,28 meter dengan batas toleransi 10 meter. Sistem autentikasi ganda dengan *token* berkadalaluarsa 60 detik terbukti efektif mencegah kecurangan absensi dan mengubah proses rekapitulasi menjadi instan dan terdigitalisasi.

Kata kunci : sistem presensi digital; QR Code dinamis; Formula Haversine; geofencing; Black-Box Testing

1. PENDAHULUAN

Institusi pendidikan kini dituntut untuk memodernisasi sistem administrasi mereka, termasuk pencatatan kehadiran siswa. Kehadiran bukan sekadar formalitas. Data absensi menjadi tolok ukur kedisiplinan sekaligus prasyarat administratif akademik yang penting. Di SMA Negeri 1 Ambarawa, pencatatan kehadiran masih dilakukan secara manual. Metode ini memakan waktu di awal jam pelajaran dan rawan kesalahan rekapitulasi. Digitalisasi proses ini menjadi kebutuhan mendesak agar waktu instruksional dapat digunakan lebih optimal.

Teknologi *Quick Response* (QR) Code telah banyak diterapkan sebagai alat pencatatan kehadiran nirkabel yang praktis. Pemindaian kode matriks ini mempercepat proses absensi dan menyederhanakan pengumpulan data secara terpusat [1]. Pengembangan sistem berbasis QR Code juga kerap dilakukan secara iteratif agar sesuai kebutuhan institusi [2]. Namun, sistem yang hanya mengandalkan QR Code statis memiliki celah keamanan. Kode dapat dibagikan melalui aplikasi pesan, sehingga siswa dapat melakukan absensi (*buddy punching*) dari luar area sekolah tanpa terdeteksi.

Untuk menutup celah ini, diperlukan autentikasi ganda yang memverifikasi identitas sekaligus lokasi fisik siswa. *Location Based Services* (LBS) berbasis sensor *Global Positioning System* (GPS) pada ponsel pintar memberikan lapisan keamanan tambahan untuk memastikan kehadiran siswa di lokasi yang benar [3]. Kombinasi pemindaian QR Code dan validasi lokasi terbukti menekan kecurangan absensi secara signifikan [4]. Sistem absensi berbasis QR Code

dengan verifikasi lokasi *real-time* juga meningkatkan akuntabilitas kehadiran di berbagai institusi [22].

Sejumlah penelitian telah mengeksplorasi integrasi keamanan sekunder pada sistem absensi. Taju et al. membangun sistem presensi yang menggabungkan QR Code dan geolokasi untuk memverifikasi kehadiran mahasiswa di lokasi perkuliahan yang tepat [11]. Nurfansyah dan Utami merancang sistem berbasis *web-mobile* untuk mengatasi inakurasi dan keterlambatan pemantauan pada absensi sekolah konvensional [12]. Di tingkat nasional, Fitra et al. mengusulkan pengenalan wajah (*face recognition*) berbasis CNN, namun beban komputasinya terlalu berat untuk perangkat siswa berspesifikasi rendah [7]. Prayogi menawarkan pendekatan *digital signature*, tetapi metode ini belum sepenuhnya mengatasi pemalsuan geolokasi [8].

Dari berbagai pendekatan tersebut, LBS menjadi solusi paling efisien dari sisi sumber daya perangkat keras [9]. Untuk akurasi *geofencing* pada radius mikro, komputasi sferis dengan algoritma *Haversine* unggul dibanding kalkulasi linear dua dimensi [10]. Algoritma *Haversine* mengukur jarak terpendek antara dua titik koordinat (*latitude* dan *longitude*) di permukaan bumi secara akurat, sehingga menghasilkan batas radius presensi yang andal [5].

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini merancang sistem pemantauan kehadiran yang memadukan QR Code dinamis dengan komputasi *Haversine*, menggunakan titik koordinat SMA Negeri 1 Ambarawa sebagai pusat referensi [6]. Sistem ini dirancang agar cepat, otomatis menolak pemindaian di luar radius toleransi, dan kebal terhadap manipulasi geolokasi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Teknologi Matriks *Quick Response* dan Kompleksitas Presensi

Transformasi pengelolaan kehadiran saat ini bertumpu pada adopsi *Quick Response* (QR) Code, yang merupakan evolusi dari pelabelan optik tradisional ke format matriks dua dimensi dengan kapasitas penyimpanan alfanumerik eksponensial. Keunggulan arsitektur ini terletak pada modul *Finder Pattern* yang memungkinkan sensor kamera menangkap dan memproses dekripsi data secara dinamis dalam hitungan milidetik dari beragam orientasi sudut pembacaan [13]. Untuk mendukung ekosistem perangkat lunak yang andal dalam membaca kode ini, berbagai metodologi pengembangan kerap digunakan, mulai dari pendekatan *Prototyping* yang iteratif [14] hingga *Extreme Programming* (XP) kerap digunakan karena sifatnya yang adaptif dalam mempercepat peluncuran aplikasi tanpa mereduksi stabilitas sisi peladen [15]. Meskipun algoritma koreksi galat seperti Reed-Solomon menjamin integritas kode visual, implementasi QR Code membutuhkan otentikasi sekunder. Hal ini disebabkan oleh rentannya kode terhadap duplikasi visual, sehingga pengamanan tambahan berbasis wajah [7], tanda tangan digital [8], maupun koordinat geografis [3] menjadi standar wajib dalam mencegah kecurangan (*buddy punching*). Studi internasional juga telah membuktikan bahwa integrasi QR Code dinamis dengan geofencing secara efektif memitigasi kecurangan presensi seperti proxy attendance dan *buddy punching* dalam lingkungan organisasi [19].

2.2. Location-Based Services (LBS) dan Geofencing

Sebagai arsitektur pengamanan lapis kedua, *Location-Based Service* (LBS) mewakili paradigma komputasi nirkabel yang memicu fungsionalitas sistem berdasarkan letak geospasial aktual perangkat seluler pengguna. Penentuan posisi ini diekstraksi dari trilaterasi sinyal *Global Positioning System* (GPS) yang menghasilkan ordinat lintang (*latitude*) dan bujur (*longitude*) [3]. Turunan aplikatif dari integrasi LBS dalam sistem presensi adalah *Geofencing*, yaitu mekanisme pemetaan demarkasi atau tapal batas virtual di atas area dunia nyata. Secara operasional, *geofencing* bertindak sebagai gerbang logika (*logic gate*) yang akan mengotorisasi atau memblokir aktivitas perekaman presensi secara otomatis saat perangkat siswa mendeteksi intrusi (masuk) atau ekstrusi (keluar) dari radius sekolah [10]. Implementasi LBS dengan QR Code pada platform mobile juga telah berhasil diterapkan menggunakan teknologi lintas platform guna memperluas jangkauan kompatibilitas sistem [20].

2.3. Komputasi Jarak Sferis Formula Haversine

Dalam menentukan tingkat keakuratan batas *geofencing*, penggunaan komputasi jarak linier datar (Euclidean) umumnya dihindari karena rentan

menghasilkan distorsi perhitungan yang masif akibat topologi bumi yang berbentuk sferoid. Sebagai alternatifnya, algoritma Haversine secara luas diakui sebagai pendekatan trigonometri sferis yang sangat presisi untuk mengkalkulasi rentang garis terpendek (*great-circle distance*) antara posisi gawai pengguna dengan titik pusat referensi institusi atau sekolah [6]. Secara komputasional, metode ini mengekstraksi nilai diferensial dari garis lintang dan garis bujur antara kedua titik, lalu memprosesnya menggunakan konstanta jari-jari rata-rata ekuatorial bumi (6.371 km) untuk menghasilkan selisih jarak absolut dalam satuan metrik. Validasi radius lokasi berbasis formula Haversine telah terbukti efektif diterapkan pada sistem presensi di lingkungan kerja nyata dengan tingkat akurasi yang konsisten [23]. Berbagai evaluasi independen telah memverifikasi bahwa penerapan metode kalkulasi ini sangat tangguh dan konsisten dalam memproses validasi data spasial tanpa menimbulkan anomali kebocoran lokasi [16]. Kombinasi Haversine dengan metode pengenalan wajah juga telah dieksplorasi untuk meningkatkan presisi validasi identitas dan lokasi secara simultan dalam sistem presensi karyawan [21].

2.4. Pertukaran Data API dan Pengujian Sistem

Dalam mengorkestrasi pertukaran informasi antar lingkungan perangkat lunak, keberadaan layanan *Application Programming Interface* (API) berfungsi selayaknya penghubung asinkron di sisi peladen [17]. Antarmuka ini bertugas mendistribusikan *payload* paket data yang memuat identitas terenkripsi matriks QR beserta rincian koordinat spasial menuju pangkalan data untuk disinkronisasi [18]. Guna memitigasi risiko pencegahan jalur komunikasi nirkabel oleh pihak tidak bertanggung jawab, lalu lintas pengiriman HTTP dibentengi dengan standar keamanan tokenisasi seperti *JSON Web Token* (JWT) [5]. Pada tahap akhir pengembangan, keseluruhan fungsi logika presensi LBS ini wajib divalidasi melalui metode *Black-Box Testing* [19]. Pengujian ini secara spesifik mengevaluasi respons fungsional terhadap *input-output*, pemicuan penolakan radius *geofencing*, serta ketahanan penanganan galat (*error handling*) tanpa perlu menganalisis struktur kode program secara internal.

2.5. Sintesis dan Posisi Penelitian

Berbagai studi telah mengonfirmasi efisiensi *Quick Response* (QR) Code dalam digitalisasi presensi [1]. Namun, arsitektur QR Code tunggal memiliki kelemahan mendasar pada tingginya kerentanan terhadap manipulasi lokasi (*buddy punching*). Upaya mitigasi keamanan sekunder melalui pengenalan biometrik wajah [7] dan injeksi *digital signature* [8] telah diusulkan, namun pendekatan tersebut seringkali terhambat oleh tingginya beban komputasi pada gawai berspesifikasi rendah serta belum optimalnya pencegahan pemalsuan posisi fisik. Oleh karena itu, integrasi *Location-Based Services* (LBS) hadir sebagai

solusi preventif yang jauh lebih optimal secara sumber daya perangkat keras [9]. Dalam membangun pagar virtual (*geofencing*) yang presisi untuk LBS, komputasi sferis metode Haversine secara konsisten terbukti memiliki akurasi yang lebih superior dibandingkan kalkulasi jarak linear [6].

Berdasarkan sintesis tersebut, posisi penelitian ini mengisi celah riset (*research gap*) melalui pengembangan arsitektur presensi hibrida yang mengeliminasi kelemahan komputasi berat tanpa mengorbankan keamanan penggunaannya. Kebaruan (*novelty*) riset ini terletak pada perpaduan dua lapis validasi absolut yang tereksekusi secara *real-time*: (1) pembangkitan QR Code dinamis dengan masa kedaluwarsa ketat selama 60 detik, serta (2) validasi *geofencing* Haversine dengan toleransi radius mikro 10 meter yang dikomputasi murni di sisi peladen (*server-side*). Kombinasi perlindungan ini menghasilkan ekosistem presensi yang ringan secara komputasi bagi klien, namun memiliki ketahanan antibocor yang setara dengan sistem biometrik untuk diterapkan di SMA Negeri 1 Ambarawa.

2.6. Penelitian Terdahulu

Taju et al. [11] menggabungkan QR Code dan geolokasi untuk memverifikasi kehadiran mahasiswa, tetapi belum menerapkan batas radius mikro yang spesifik. Nurfansyah dan Utami [12] merancang sistem absensi *web-mobile* berbasis QR Code yang lebih cepat dari metode manual, namun tidak dilengkapi validasi lokasi fisik. Fitra et al. [7] mengusulkan pengenalan wajah berbasis CNN dengan akurasi tinggi, tetapi beban komputasinya terlalu berat untuk perangkat berspesifikasi rendah. Prayogi [8] menerapkan *digital signature* untuk keamanan identitas, namun belum mengatasi pemalsuan geolokasi.

Pada sisi validasi lokasi, penelitian berbasis Haversine menghasilkan akurasi spasial yang konsisten di lingkungan kerja [16], tetapi belum diintegrasikan dengan QR Code dinamis. Kombinasi Haversine dan pengenalan wajah meningkatkan presisi validasi identitas dan lokasi secara bersamaan [21], meski komputasinya tetap berat di sisi klien. Implementasi LBS dengan QR Code pada platform *mobile* memperluas kompatibilitas sistem [20], tetapi radius toleransi tidak didefinisikan secara spesifik. Validasi lokasi berbasis Haversine di lingkungan kerja nyata terbukti akurat dan konsisten [23], namun belum diterapkan di institusi pendidikan.

Dari penelitian-penelitian tersebut, belum ada sistem yang menggabungkan QR Code dinamis dengan validasi *geofencing* Haversine pada radius mikro untuk institusi pendidikan menengah. Penelitian ini mengisi celah tersebut.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Objek dan Populasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di SMAN 1 Ambarawa dengan melibatkan 384 peserta didik kelas XII sebagai

populasi pengguna sistem. Pemilihan satu angkatan penuh bertujuan memastikan pengujian berlangsung dalam kondisi yang merepresentasikan skenario *concurrent access* bervolume nyata sekaligus memudahkan kontrol variabel pengujian. Implementasi awal dilaksanakan secara *pilot testing* pada mata pelajaran Informatika sebagai wahana kalibrasi sebelum perluasan ke seluruh mata pelajaran. Titik koordinat referensi absolut sekolah ditetapkan pada posisi lintang $-7,2507459^\circ$ dan bujur $110,4075611^\circ$, hasil observasi lapangan dan verifikasi pemetaan digital terhadap sentral gerbang utama SMAN 1 Ambarawa.

3.2. Model Pengembangan Perangkat Lunak (Waterfall)

Model *Waterfall* dipilih sebagai kerangka pengembangan karena karakteristik sekuensial dan terstruktur selaras dengan kebutuhan integritas data koordinat serta keamanan token yang menjadi inti sistem. Empat tahapan dieksekusi secara berurutan sebagai berikut.

3.3. Analisis Kebutuhan (Requirement Analysis)

Tahap ini mengidentifikasi kebutuhan teknis dan non-teknis SMAN 1 Ambarawa. Kebutuhan fungsional mencakup: pengelolaan data master 384 siswa kelas XII, pembangkitan QR Code dinamis per sesi, validasi temporal token (TTL 60 detik), validasi geospasial Haversine (radius 10 meter), dan dasbor rekap *real-time* dengan fitur ekspor CSV. Kebutuhan non-fungsional meliputi: waktu respons transaksi di bawah 500 milidetik, kompatibilitas lintas platform (Android dan iOS), dan keamanan endpoint REST API melalui JWT.

3.4. Perancangan Sistem (System Design)

Kebutuhan diterjemahkan ke dalam cetak biru teknis berbasis arsitektur *three-tier* yang memisahkan lapisan klien, lapisan peladen, dan lapisan basis data. Perancangan mencakup: skema basis data relasional MySQL dengan empat entitas tabel (*admin*, *student*, *qrSession*, *attendance*), pemodelan interaksi pengguna melalui Use Case Diagram dan Activity Diagram, serta perancangan antarmuka yang ergonomis untuk kedua entitas pengguna (administrator dan peserta didik).

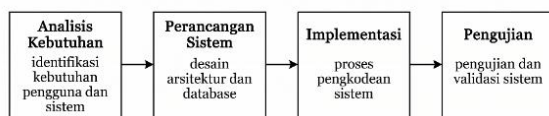
3.5. Implementasi (Implementation)

Tahap implementasi mentransformasi desain menjadi kode yang dapat dieksekusi. Pengembangan sisi peladen menggunakan Node.js v20.11.0 dengan Express.js v4.18.2 sebagai kerangka REST API. Fokus utama adalah pengkodean fungsi Haversine sebagai modul asinkronus JavaScript yang dipanggil dinamis setiap kali server menerima permintaan presensi. Modul kriptografi *crypto.randomBytes()* diterapkan untuk memastikan token QR bersifat unik dan acak kriptografis pada setiap sesi. Autentikasi administrator diamankan melalui hashing bcrypt (*salt rounds* = 10)

dan penerbitan JWT sebagai instrumen otorisasi *stateless* pada seluruh endpoint sensitif.

3.6. Pengujian (Testing)

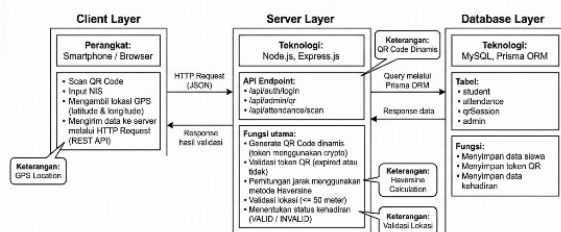
Evaluasi fungsional dilaksanakan menggunakan Black-Box Testing pada enam skenario kritis yang mencakup seluruh jalur logika sistem. Pengujian dilaksanakan menggunakan perangkat Android (Chrome Mobile) dan iOS (Safari Mobile) untuk memastikan kompatibilitas lintas platform, serta Postman v10.21 untuk verifikasi respons endpoint REST API secara terstruktur. Pengujian akurasi komputasi Haversine dilaksanakan secara terpisah dengan menginjeksikan enam pasangan koordinat terverifikasi dan membandingkan hasilnya dengan referensi eksternal.



Gambar 1. Diagram Alir Model Waterfall

3.7. Arsitektur Sistem

Sistem dibangun menggunakan arsitektur tiga lapis yang beroperasi secara asinkron melalui antarmuka REST API. *Lapisan klien* direpresentasikan oleh peramban web pada perangkat seluler siswa yang mengintegrasikan modul pemindai optik (*html5-qrcode* v2.3.8) dan *Geolocation API* untuk menangkap koordinat GPS. *Lapisan peladen* dibangun di atas Node.js v20.11.0 dengan Express.js v4.18.2 sebagai pusat pemrosesan logika bisnis, termasuk seluruh kalkulasi Haversine yang dengan sengaja diposisikan di sisi ini untuk mengeliminasi manipulasi koordinat dari klien. *Lapisan basis data* menggunakan MySQL 8.0.32 yang diakses melalui Prisma ORM v5.7.1 untuk menjamin keamanan transaksi melalui kueri terparameterisasi dan mengeliminasi kerentanan injeksi SQL.

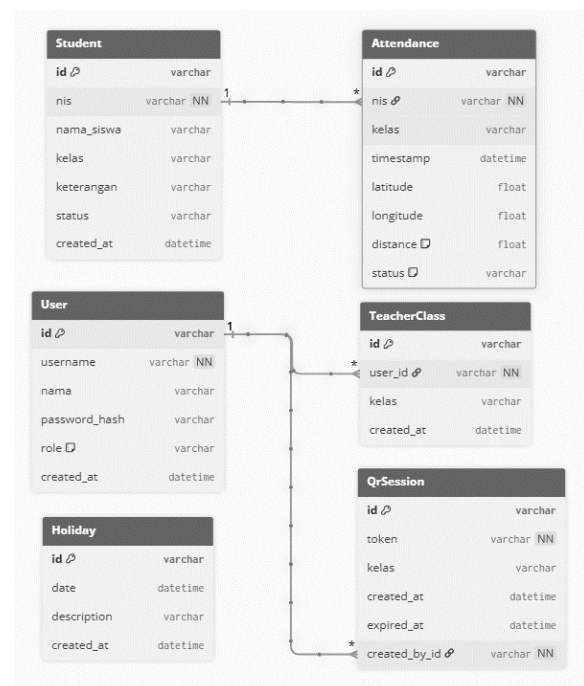


Gambar 2. Arsitektur Sistem Presensi

3.8. Rancangan Basis Data

Skema basis data relasional sistem dikelola melalui *Prisma Object-Relational Mapping (ORM)* untuk menjamin integritas pertukaran data. Pusat operasional bertumpu pada relasi *One-to-Many* antara entitas master *Student* dan tabel transaksional *Attendance*. Setiap histori kehadiran yang dieksekusi siswa secara komprehensif merekam jejak spasial (*latitude*, *longitude*, dan *distance* komputasi

Haversine) serta penanda waktu akses (*timestamp*). Untuk dimensi otorisasi, entitas *User* mengelola kredensial terenkripsi menggunakan metode *hashing* dan mendelegasikan wewenang akses melalui dua relasi utama: entitas *TeacherClass* untuk membatasi yurisdiksi kelas bagi setiap pendidik, serta entitas transien *QrSession* yang mendokumentasikan setiap siklus pembuatan token QR dinamis lengkap dengan presisi tenggat kedaluwarsa (*expired_at*). Sistem ini juga mengintegrasikan tabel referensial *Holiday* yang beroperasi secara independen sebagai filter logika (*logical filter*) untuk mencegah anomali kalkulasi presensi pada kalender libur akademik.



Gambar 3. Entity Relationship Diagram (ERD)

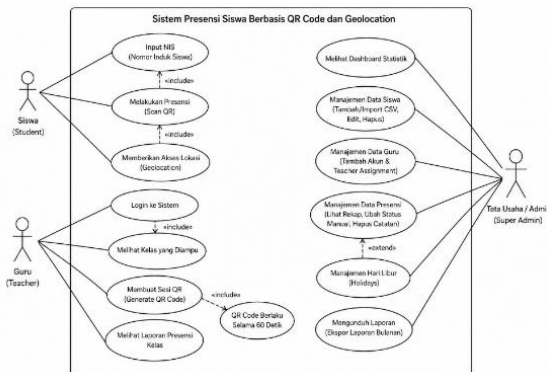
3.9. Pemodelan Interaksi Pengguna

Pemodelan *use case* pada penelitian ini memetakan batasan akses dan interaksi fungsional dari tiga entitas pengguna yaitu Tata Usaha, Guru, dan Siswa terhadap platform presensi berbasis *Location Based Service*. Entitas Tata Usaha beroperasi sebagai administrator utama yang memegang hak prerogatif dalam pengelolaan *database* sivitas akademika, pemantauan dasbor analitik, konfigurasi hari libur, koreksi data absensi, serta ekstraksi laporan rekapitulasi bulanan.

Selanjutnya aktor Guru memiliki wewenang operasional di tingkat kelas. Setelah proses autentikasi, pendidik dapat mengakses daftar penugasan kelas, mengevaluasi metrik kehadiran harian, serta membangkitkan QR Code secara dinamis. Kode token tersebut secara sistematis dibekali protokol keamanan berupa batas waktu kedaluwarsa selama 60 detik untuk memitigasi anomali atau potensi manipulasi absensi dari luar area pembelajaran.

Sementara itu aktor Siswa bertindak selaku pengguna akhir yang diwajibkan melakukan

pemindaian pada QR Code yang telah dirilis. Tindakan tersebut akan memicu dua lapis validasi yaitu autentikasi identitas primer melalui penginputan Nomor Induk Siswa yang dilanjutkan dengan persetujuan ekstraksi koordinat geospasial dari gawai pengguna guna memverifikasi presisi keberadaan fisik secara akurat dan langsung.



Gambar 4. Use Case Diagram

3.10. Implementasi Formula Haversine

Validasi geospasial diimplementasikan melalui formulasi trigonometri sferis Haversine yang dieksekusi sepenuhnya pada lapisan peladen. Tiga persamaan berikut mendefinisikan kalkulasi jarak d antara posisi GPS siswa dan titik referensi sekolah:

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) + \cos(\phi_1) \cdot \cos(\phi_2) \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)$$

$$c = 2 \cdot \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a})$$

$$d = R \cdot c$$

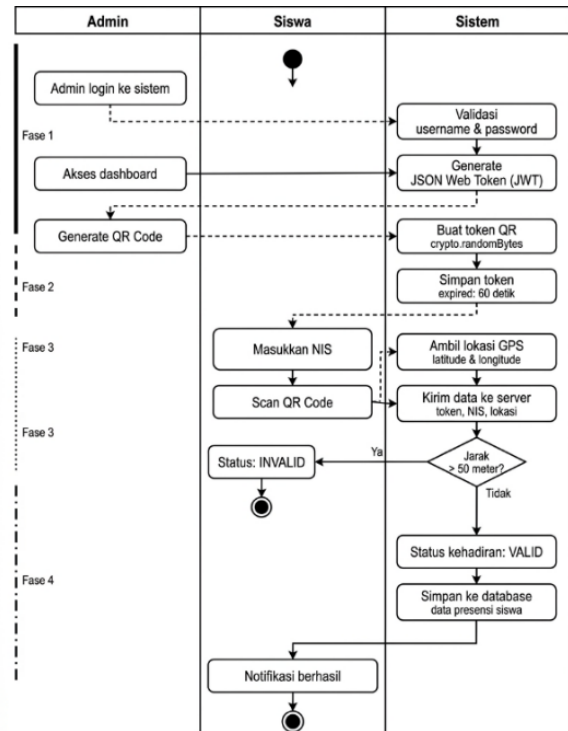
(1)

Variabel ϕ_1 adalah lintang referensi sekolah ($-7,2507459^\circ$ dalam radian), ϕ_2 adalah lintang GPS dinamis siswa, $\Delta\phi$ adalah selisih lintang, $\Delta\lambda$ adalah selisih bujur, R adalah jari-jari rata-rata bumi (6.371.000 meter), dan d adalah jarak linier akhir dalam meter. Hasil kalkulasi d dievaluasi terhadap konstanta geofencing: kehadiran dinyatakan VALID apabila $d \leq 10$ m, dan INVALID apabila $d > 10$ m. Konversi dari derajat ke radian dilaksanakan sebelum pemanggilan fungsi trigonometri JavaScript yang beroperasi dalam domain radian. Koordinat referensi sekolah ditanamkan sebagai konstanta tetap (*hardcoded constant*) di konfigurasi peladen untuk mengeliminasi potensi manipulasi dari sisi klien.

3.11. Alur Validasi Berlapis

Setiap permintaan presensi melewati mekanisme validasi dua lapis secara sekuensial. Lapisan pertama adalah *validasi temporal*: peladen membandingkan *timestamp* penerimaan permintaan dengan nilai *expired_at* pada tabel *qrSession*; token yang berusia lebih dari 60 detik langsung ditolak tanpa memasuki tahap berikutnya (desain *fail-fast*). Lapisan kedua adalah *validasi spasial*: fungsi Haversine dieksekusi dengan koordinat GPS yang ditransmisikan klien, dan

hasilnya dievaluasi terhadap ambang 10 meter. Hanya transaksi yang lolos kedua lapisan yang diizinkan untuk dikomit ke tabel *attendance* melalui Prisma ORM. Arsitektur *dual-validation* ini secara sengaja memposisikan seluruh komputasi di sisi peladen untuk mencegah rekayasa *client-side*. Alur kerja keseluruhan sistem direpresentasikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Activity Diagram Alur Presensi

3.12. Rancangan Pengujian Black-Box Testing

Evaluasi fungsionalitas sistem mengadopsi pendekatan *black-box* melalui enam skenario terintegrasi yang memvalidasi jalur logika kritis berdasarkan kesesuaian masukan dan luaran. Tahapan evaluasi secara komprehensif meninjau kapabilitas akuisisi optik QR Code dengan target pemrosesan di bawah dua detik, yang segera dilanjutkan dengan uji keandalan validasi temporal guna mengesahkan token dinamis aktif sekaligus meretes permintaan apabila masa berlakunya telah kedaluwarsa. Pada aspek pengenalan spasial, pengujian mengukur presisi *geofencing* algoritma Haversine dalam mengidentifikasi lokasi pengguna pada batas radius toleransi maksimal lima puluh meter dan secara otomatis menolak akses di luar cakupan zona tersebut. Keseluruhan proses ini diakhiri dengan verifikasi integritas persistensi data untuk memastikan rekaman presensi tereksekusi sempurna ke dalam basis data tanpa anomali. Sebagai pelengkap pengujian fungsional ini, akurasi komputasi jarak algoritmik juga dikalibrasi secara mandiri menggunakan komparasi silang terhadap enam titik koordinat GPS referensi eksternal.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem monitoring kehadiran berbasis QR Code dengan validasi geospasial Haversine berhasil dibangun dan diuji secara menyeluruh. Bagian ini memaparkan hasil implementasi antarmuka sistem, capaian pengujian fungsional, akurasi komputasi algoritma, efisiensi waktu respons, dan analisis keamanan terhadap skenario manipulasi.

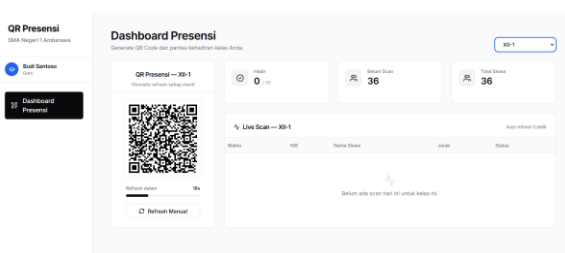
4.1. Implementasi Antarmuka Guru

Antarmuka *login* dirancang sebagai gerbang akses terpadu bagi entitas *Super Admin* dan Guru menuju dasbor utama sistem. Halaman autentikasi ini mengimplementasikan formulir kredensial standar yang memuat kolom isian nama pengguna beserta kata sandi dengan fitur pelindung karakter visual atau *password masking*. Guna mengoptimalkan tingkat kebergunaan dan memusatkan fokus pengguna pada proses otorisasi, visualisasi halaman ini secara sengaja mengusung tata letak yang bersih dengan pendekatan palet warna monokrom hitam putih. Alur penentuan hak akses atau delegasi peran pengguna akan divalidasi secara otomatis oleh algoritma sistem sesaat setelah tombol eksekusi ditekan.

4.2. Implementasi Antarmuka Guru

Antarmuka pengguna khusus pendidik dikembangkan berbasis web responsif agar kompatibel pada berbagai gawai operasional. Pasca autentikasi, sistem secara otomatis mengarahkan pendidik menuju halaman *dashboard* yang bertindak selaku pusat komando presensi kelas. Halaman utama ini menyajikan visualisasi pemantauan absensi secara komprehensif melalui tiga fungsionalitas esensial yaitu panel *QR Code* dinamis, kartu agregasi data kehadiran, dan tabel pemantauan *real time*.

Komponen visual *QR Code* ditempatkan pada sisi kiri antarmuka sebagai instrumen pemindaian bagi peserta didik. Guna memitigasi potensi manipulasi presensi, token kode ini direkayasa agar melakukan regenerasi otomatis setiap 60 detik serta dilengkapi tombol pembaruan manual. Pada area ekuator hingga sisi kanan layar, sistem menampilkan tiga indikator metrik yang mengalkulasi akumulasi siswa hadir, siswa belum memindai, dan total populasi kelas. Pembaruan data pada metrik ini dieksekusi secara asinkron setiap lima detik. Area bawah antarmuka diintegrasikan dengan tabel log aktivitas yang merekam atribut waktu, Nomor Induk Siswa, nama lengkap, jarak geospasial, serta status validasi akhir.



Gambar 6. Visualisasi *Dashboard* Guru

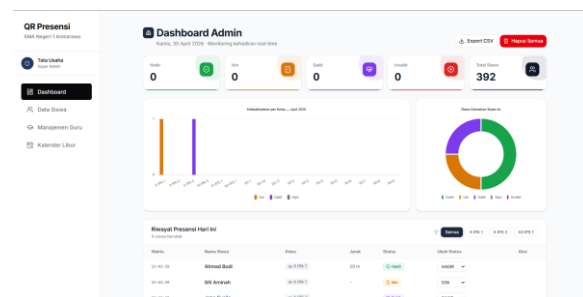
Demi mengoptimalkan efisiensi pengajar dengan beban tugas multikelas, antarmuka ini memboyong fitur komutator kelas pada sudut kanan atas. Fasilitas ini menyederhanakan transisi pemantauan antarruang kelas secara praktis dalam satu jendela tunggal. Selanjutnya panel navigasi pada sisi kiri memuat detail identitas pengguna aktif beserta opsi *logout* pada bagian dasar. Secara keseluruhan, arsitektur tata letak antarmuka mengadopsi prinsip desain minimalis dengan palet warna netral guna meningkatkan metrik *usability* serta mencegah kelelahan kognitif pengguna saat mengoperasikan sistem.

4.3. Implementasi Antarmuka Klien

Antarmuka administrator utama memegang hak akses tertinggi dengan kapabilitas pengelolaan data presensi secara komprehensif lintas kelas. Modul berbasis web ini difungsikan sebagai pusat kendali terpadu untuk memfasilitasi pengambilan keputusan strategis berbasis metrik evaluasi.

Dasbor utama menyajikan agregasi data kehadiran harian seluruh populasi siswa. Metrik ini divisualisasikan melalui kartu informasi ringkas yang mengklasifikasikan status validasi yaitu hadir, izin, sakit, dan anomali beserta total pendaftar aktif. Guna menunjang penyusunan laporan skripsi yang berfokus pada kejelasan fungsionalitas, rancangan antarmuka ini mengusung palet warna monokrom atau hitam putih yang bersih sehingga informasi krusial dapat diinterpretasi secara optimal tanpa distraksi visual.

Panel visualisasi sekunder mengintegrasikan diagram batang untuk komparasi tingkat ketidakhadiran antarkelas pada periode berjalan serta diagram lingkaran untuk representasi proporsional distribusi status absensi. Pendekatan analitik ini mempercepat proses identifikasi kelas dengan tingkat anomali presensi paling tinggi.



Gambar 7. Visualisasi Dasbor Administrator

Segmen bawah antarmuka memuat tabel log presensi harian yang merekam waktu, identitas siswa, kelas, jarak geospasial, serta status akhir. Administrator dibekali otoritas mutlak untuk melakukan intervensi atau modifikasi status kehadiran secara langsung melalui opsi pada tabel tersebut. Fasilitas tambahan berupa filter spesifik kelas dan fitur ekstraksi data ke format CSV turut disematkan guna menunjang efisiensi pengarsipan serta pelaporan administratif.

Panel navigasi lateral menyediakan akses menuju modul manajemen pangkalan data sivitas akademika. Modul data siswa mengakomodasi manipulasi data identitas peserta didik secara penuh. Sementara itu modul manajemen guru memberikan hak pendelegasian wewenang kelas pada akun pendidik baru maupun modifikasi akun eksisting. Sistem ini juga dilengkapi fitur konfigurasi kalender akademik untuk menetapkan hari libur resmi yang secara otomatis akan menghentikan kalkulasi absensi pada tanggal terkait.

4.4. Implementasi Antarmuka Klien

Antarmuka sisi klien dirancang untuk beroperasi secara optimal pada perangkat seluler dengan berbagai ukuran layar menggunakan pendekatan tata letak responsif. Prioritas desain adalah meminimalisasi beban kognitif agar proses pelaporan kehadiran berlangsung efisien dalam hitungan detik. Tiga kondisi tampilan utama diimplementasikan: skenario login, skenario scan berhasil, dan skenario scan gagal.

4.5. Halaman Login dan Verifikasi Identitas Siswa

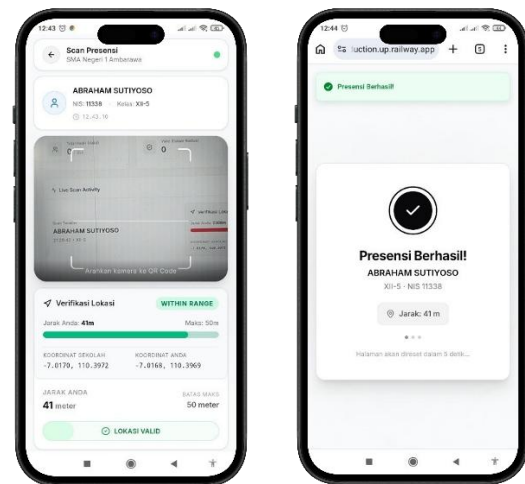
Modul autentikasi peserta didik dirancang secara spesifik menggunakan mekanisme identifikasi tunggal berbasis Nomor Induk Siswa guna mengakselerasi proses akses di lingkungan sekolah. Proses validasi diawali dengan transmisi data masukan menuju peladen untuk dicocokkan secara langsung terhadap entitas pada basis data utama. Keberhasilan verifikasi tersebut akan memicu aktivasi sesi klien yang ditandai dengan kemunculan antarmuka kartu identitas berisi nama lengkap, rombongan belajar, serta nomor induk sebagai konfirmasi keabsahan pengguna. Sebaliknya, apabila masukan tidak teridentifikasi, sistem secara otomatis akan memblokir akses menuju fitur pemindai dan memunculkan notifikasi peringatan bahwa identitas tersebut tidak terdaftar.

4.6. Halaman Login dan Verifikasi Identitas Siswa

Setelah identitas terverifikasi, siswa diarahkan ke antarmuka utama yang menampilkan area *Scanner View* di bagian tengah layar. Area ini mengaktifkan kamera belakang perangkat secara otomatis melalui *html5-qrcode* API, menampilkan jendela pemindaian dengan bingkai panduan visual untuk membantu pengguna mengarahkan kamera. Di bawah area pemindai, *Panel Verifikasi Lokasi* menampilkan informasi geospasial secara dinamis: koordinat referensi sekolah, koordinat GPS perangkat siswa yang diperbarui secara *real-time*, dan visualisasi bilah kemajuan (*progress bar*) yang menunjukkan posisi jarak siswa terhadap batas toleransi 10 meter. Indikator ini memberikan transparansi kepada siswa sebelum pemindaian dilakukan, sehingga siswa mengetahui apakah posisi mereka saat itu akan menghasilkan kehadiran yang valid.

4.7. Skenario Scan Berhasil

Ketika QR Code berhasil dipindai, perangkat klien merangkai *payload* yang memuat NIS, token QR hasil dekode, dan koordinat GPS terkini, kemudian mengirimkannya melalui HTTP POST ke endpoint */api/attendance/scan*. Di sisi peladen, dua lapis validasi dieksekusi secara sekuensial: verifikasi temporal (token belum kedaluwarsa) dan verifikasi spasial (jarak Haversine ≤ 10 m). Apabila kedua kondisi terpenuhi, data dikomit ke tabel *attendance* dengan status VALID. Antarmuka klien merespons dengan menampilkan layar konfirmasi berwarna hijau yang memuat pesan "*Presensi Berhasil Dicatat!*", nama lengkap siswa, kelas, NIS, waktu presensi, dan jarak komputasi Haversine dalam meter. Tampilan ini berfungsi sebagai bukti digital kehadiran yang dapat diverifikasi siswa secara langsung. Setelah beberapa detik, antarmuka kembali ke halaman awal pemindai, siap menerima pemindaian berikutnya.

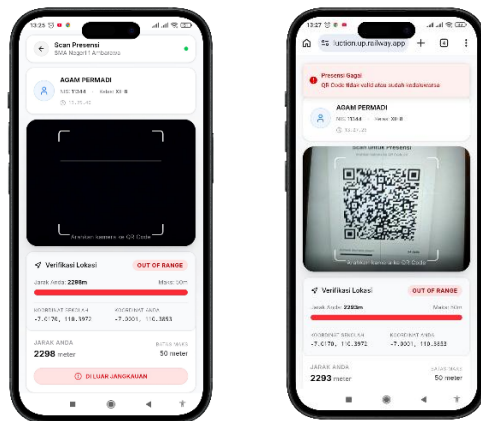


Gambar 11. Antarmuka Sisi Klien

4.8. Skenario Scan Gagal

Mekanisme penolakan presensi diklasifikasikan ke dalam dua parameter validasi yang masing-masing memberikan umpan balik spesifik. Parameter pertama terpicu apabila kode QR dipindai setelah melewati masa aktif enam puluh detik. Pada keadaan ini, peladen akan menghasilkan respons *HTTP 400* yang menginstruksikan antarmuka klien untuk memunculkan peringatan visual merah terkait kedaluwarsa token. Parameter kedua aktif ketika token yang dipindai masih valid namun kalkulasi spasial pengguna melampaui batas radius lima puluh meter. Situasi tersebut menghasilkan respons *HTTP 200* dengan status tidak valid sehingga sistem menayangkan penolakan akses beserta rincian metrik jarak komputasi aktual pengguna. Diferensiasi notifikasi galat secara eksplisit ini diimplementasikan guna memberikan pemahaman mandiri kepada peserta didik mengenai penyebab kegagalan tanpa memerlukan intervensi administrator. Selain itu, transparansi batasan validasi tersebut secara simultan

berfungsi memitigasi potensi manipulasi sistem maupun rekayasa presensi oleh pengguna.



Gambar 12. Tampilan di Luar Radius atau Token Kedaluwarsa

4.9. Pengujian Akurasi Komputasi Haversine

Verifikasi akurasi dilaksanakan dengan menginjeksikan enam pasangan koordinat terverifikasi dan membandingkan hasil komputasi sistem dengan jarak referensi eksternal (Google Maps Distance Calculator). Koordinat referensi sekolah yang digunakan adalah $-7,2507459^\circ$ (lintang) dan $110,4075611^\circ$ (bujur). Hasil pengujian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Akurasi Komputasi Jarak Haversine

Uji	Koordinat Masukan Siswa	Referensi m	Sistem m	Status Akhir
1	7.2507459 LS, 110.4075611 BT	0.00	0.00	VALID
2	7.2507100 LS, 110.4075800 BT	4.51	4.51	VALID
3	7.2508170 LS, 110.4075150 BT	9.40	9.40	VALID
4	7.2506560 LS, 110.4076150 BT	11.63	11.63	INVALID
5	7.2509500 LS, 110.4076200 BT	22.87	22.87	INVALID
6	7.2520000 LS, 110.4090000 BT	148.72	149.00	INVALID

Berdasarkan metrik pengujian luaran komputasi algoritma Haversine mendemonstrasikan tingkat presisi yang sangat optimal. Selisih margin galat tercatat sangat minim yaitu berkisar antara 0.00 hingga 0.28 meter pada pengujian sampel terjauh. Deviasi ini berada jauh di bawah ambang batas toleransi sehingga sama sekali tidak mendistorsi keputusan validasi akhir.

Algoritma terbukti andal dalam menangani skenario batas tepi atau kondisi kritis. Sebagai contoh pada sampel Uji 3 dengan kalkulasi jarak 9.40 meter presensi tetap terotorisasi valid karena masih memenuhi syarat di bawah radius 10 meter. Sebaliknya sistem secara tegas menggugurkan kehadiran pada sampel Uji 4 yang mencatat jarak

11.63 meter. Temuan ini mengonfirmasi bahwa integrasi Haversine pada lingkungan Node JS mampu mengeksekusi mekanisme pembatasan wilayah secara akurat walau hanya terputat margin metrik yang sangat sempit.

4.10. Hasil Black-Box Testing

Keseluruhan enam skenario Black-Box Testing menghasilkan status PASS, mencapai tingkat keberhasilan fungsional 100%. Rekapitulasi hasil disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Black-Box Testing

Kode	Fokus Pengujian	Status Luaran
BBT 01	Akuisisi visual dan dekode token QR	LULUS
BBT 02	Otorisasi sesi temporal aktif	LULUS
BBT 03	Penolakan sesi temporal kedaluwarsa	LULUS
BBT 04	Validasi geospasial dalam batas radius	LULUS
BBT 05	Penolakan geospasial luar jangkauan	LULUS
BBT 06	Persistensi data menuju pangkalan data	LULUS

Mengacu pada Tabel 2 rasio keberhasilan komputasi mencapai angka seratus persen untuk keseluruhan enam skenario uji. Kondisi ini membuktikan bahwa seluruh alur logika esensial pada sistem telah beroperasi secara konsisten. Analisis mendalam pada skenario BBT 01 menunjukkan bahwa modul pemindai optik mampu menyelesaikan proses dekode token dalam durasi kurang dari dua detik sekaligus merangkai instruksi pengiriman data secara otomatis.

Selanjutnya pada uji BBT 02 dan BBT 03 sistem mendemonstrasikan keandalan protokol validasi temporal. Peladen secara presisi memberikan izin akses penuh saat durasi token masih berstatus aktif dan secara tegas menerbitkan respons penolakan atau *Bad Request* tepat setelah batas waktu terlampaui. Penolakan instan ini secara tidak langsung mengoptimalkan kinerja peladen karena sistem akan langsung memutus siklus pemrosesan tanpa perlu mengeksekusi kalkulasi spasial yang memakan komputasi lebih besar.

Terkait presisi pembatasan wilayah skenario BBT 04 dan BBT 05 mengonfirmasi bahwa algoritma internal mampu mendiskriminasi validitas lokasi pengguna di dalam maupun di luar batas toleransi sepuluh meter. Respons penolakan maupun persetujuan dieksekusi secara konsisten tanpa sekalipun menghasilkan anomali berupa positif palsu maupun negatif palsu. Sebagai penutup skenario BBT 06 memastikan integritas aliran informasi dari gawai klien hingga tersimpan permanen pada pangkalan data. Setelah otorisasi berlapis terpenuhi peladen berhasil melakukan penyisipan rekam kehadiran absensi

beserta rincian atribut pendukung secara utuh tanpa mendeteksi adanya malfungsi redundansi maupun elemen data kosong.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Implementasi sistem presensi digital berarsitektur tiga lapis pada jenjang sekolah menengah atas ini terbukti berhasil mereduksi anomali manipulasi kehadiran secara signifikan. Integrasi peladen Node JS dan basis data relasional menghasilkan waktu komputasi responsif di bawah satu detik. Evaluasi fungsionalitas kotak hitam mencapai rasio keberhasilan seratus persen dalam memvalidasi otorisasi ganda berupa pemindaian token QR dinamis berdurasi enam puluh detik beserta ekstraksi geospasial gawai. Algoritma Haversine turut mendemonstrasikan tingkat presisi analitik yang sangat optimal dengan margin galat maksimal nol koma dua delapan meter pada limitasi radius sepuluh meter. Secara keseluruhan platform ini sukses mengotomatisasi prosedur rekapitulasi administratif konvensional menjadi siklus pencatatan terpadu yang instan dan akurat.

Sebagai langkah penyempurnaan fungsionalitas di masa mendatang pengembangan platform perlu mengakomodasi integrasi autentikasi biometrik pengenalan wajah untuk mengeliminasi risiko manipulasi lokasi secara mutlak. Pihak institusi pendidikan juga disarankan untuk memperkuat cakupan infrastruktur jaringan nirkabel guna menjamin stabilitas transmisi koordinat gawai menuju peladen. Selain itu penambahan modul gerbang notifikasi pesan instan kepada wali murid serta pelaksanaan uji beban skala masif untuk mengukur batas kapasitas pemrosesan instruksi pada jam sibuk kedatangan sekolah merupakan rekomendasi krusial yang perlu dieksekusi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Kurniadi, Y. Septiana, M. Abdul, and Y. Hanifah, "Pengembangan Aplikasi Presensi Karyawan Menggunakan Quick Response Code Berbasis Web dan Android," *Jurnal Algoritma*, vol. 19, no. 1, pp. 268–279, 2022.
- [2] N. Hafizhah and A. T. Hidayat, "Optimalisasi Pengembangan Sistem Presensi Karyawan Menggunakan Extreme Programming dan Teknologi QR Code," *Jurnal Janitra Informatika Dan Sistem Informasi*, vol. 5, no. 1, 2025.
- [3] F. A. Siregar and Suendri, "Aplikasi Presensi Perkuliahan Mahasiswa Menggunakan QR-Code dan Location Based Service Berbasis Android," *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika Dan Komunikasi*, vol. 4, no. 3, pp. 1227–1235, 2023.
- [4] M. Himyar, M. F. Mulya, and J. H. Siringo Ringo, "Aplikasi Absensi Karyawan Berbasis Android Dengan Penerapan QR Code Disertai Foto Diri Dan Lokasi Sebagai Validasi: Studi Kasus PT. Selindo Alpha," *Jurnal SISKOM-KB (Sistem Komputer dan Kecerdasan Buatan)*, vol. 4, no. 2, pp. 64–74, 2021.
- [5] P. Painem and H. Soetanto, "Sistem Presensi Pegawai Berbasis Web Service Menggunakan Metode Restfull Dengan Keamanan JWT Dan Algoritma Haversine," *Fountain of Informatics Journal*, vol. 5, no. 3, 2020.
- [6] I. Rudiansyah and E. Andika, "Rancang Bangun Sistem Absensi Guru dan Staff Berbasis Web Menggunakan Algoritma Haversine (Studi Kasus: SMKN 1 Tegalbuleud)," 2025.
- [7] M. Fitra, F. Rusamsi, A. Suharso, and C. Rozikin, "Penerapan Pengenalan Wajah Menggunakan CNN dan Deteksi Lokasi Haversine untuk Presensi Sekolah Berbasis Web," *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 4, 2025.
- [8] N. Prayogi and A. Ayuningtyas, "Aplikasi Presensi Kegiatan Menggunakan QR Code dan Digital Signature pada Dinas Kominfo Kabupaten Gresik," *Jurnal Teknologi dan Informasi (JATI)*, vol. 13, no. 2, pp. 109–121, 2023.
- [9] A. A. Ma'shum, D. Remawati, and B. W. Yudhanto, "Implementasi Metode Location Based Services Pada Sistem Presensi Pegawai," *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi (TIKoSIN)*, vol. 10, no. 2, 2022.
- [10] M. A. Crisna and M. Hatta, "Aplikasi Presensi Karyawan Menggunakan Geolocation dan Metode Haversine Berbasis Android," *Journal of Technopreneurship and Information System (JTIS)*, vol. 5, no. 3, 2022.
- [11] S. W. Taju, Y. P. Mamahit, and J. A. Pongantung, "Implementing QR Code and Geolocation Technologies for the Student Attendance System," *CogITO Smart Journal*, vol. 10, no. 1, pp. 221–232, 2024.
- [12] L. O. M. Nurfansyah and W. S. Utami, "Development of a Web-Mobile Based Attendance Information System For Teachers and Students Using QR Code Integrated With Geolocation," *Jurnal Teknologi Dan Open Source*, vol. 8, no. 2, pp. 973–983, 2025.
- [13] A. B. Benesa, R. M. A. Tubice, and E. D. T. Tubice, "Enhancing Attendance Tracking Efficiency and Effectiveness through the Implementation of a QR Code-Based System," *International Journal of Research and Innovation in Social Science (IJRISS)*, vol. 8, no. 8, pp. 2706–2728, 2024.
- [14] D. Hamdani, A. P. Wibowo, and H. Heryono, "Perancangan Sistem Presensi Online dengan QR Code Menggunakan Metode Prototyping," *Jurnal Teknologi dan Informasi (JATI)*, vol. 14, no. 1, pp. 62–73, 2024.
- [15] Q. E. Fazrin, T. Lisnawati, S. Nurhayati, J. B. Satya, and D. Alamsyah, "Penerapan Metode Pengembangan Sistem Extreme Programming (XP) Pada Aplikasi Presensi Karyawan dengan

- QR Code," *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, vol. 3, no. 3, pp. 164–170, 2021.
- [16] S. H. Herryasan, "Rancang Bangun Aplikasi Web Presensi Menggunakan Metode *Haversine* dan *Local Binary Pattern Histogram* (Studi Kasus pada PT Karunia Multifinance)," Tugas Akhir, Program Studi S1 Sistem Informasi, Universitas Dinamika, Surabaya, 2025.
- [17] M. Madhiyono, S. Kosasi, and D. David, "Implementasi JWT, *Fingerprint* dan Algoritma *Haversine* Dalam Aplikasi Presensi Mahasiswa," *Jurnal Sisfokom (Sistem Informasi dan Komputer)*, vol. 10, no. 3, pp. 328–333, 2021.
- [18] I. G. T. Permana, D. S. Rusdianto, and L. Fanani, "Pengembangan Sistem Presensi berbasis Lokasi menggunakan *Geofence* WiFi dan REST API pada Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (J-PTIIK)*, vol. 3, no. 9, 2019.
- [19] A. Nwabuwe, B. Sanghera, T. Alade, and F. Olajide, "Fraud Mitigation in Attendance Monitoring Systems using Dynamic QR Code, *Geofencing* and IMEI Technologies," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, vol. 14, no. 4, pp. 938–945, 2023.
- [20] F. R. Ferdiansyah and R. Sofian, "Implementasi Teknologi QR Code Dan *Location Based Service* Pada Presensi *Mobile Flutter*," *Jurnal Ilmiah Intech: Information Technology Journal of UMUS*, vol. 5, no. 2, pp. 85–97, 2023.
- [21] F. Lubis, M. Mawengkang, and R. Sihombing, "Development *Geofencing* Process and *Face Recognition* Design Using *Haversine* Formula and the K-Nearest Neighbor Algorithm in the Employee Attendance Application," *Journal of Computer Science and Informatics Engineering (J-COSINE)*, vol. 8, no. 1, pp. 35–44, 2024.
- [22] B. Pamungkas, R. T. Iswahyudi, N. Anwar, and H. D. Ariessanti, "Digitalisasi Sistem Absensi *Real-Time* Berbasis QR Code Dengan Validasi Lokasi Untuk Meningkatkan Akuntabilitas Kehadiran Personel," *ROUTERS: Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi*, vol. 4, no. 1, pp. 1–12, 2026.
- [23] I. Listiawan, S. Winardi, and F. Nur Aini, "Sistem Informasi Presensi Dengan Validasi Radius Lokasi Menggunakan Formula *Haversine* (Studi Kasus: PT. PICSI)," *Bisnis dan Manajemen*, vol. 21, no. 1, 2023.