

Pengembangan Sistem Absensi Wajah Real-Time Berbasis Face Embedding Menggunakan Arsitektur FaceNet

Development of a Real-Time Face Recognition Attendance System Based on Face Embedding Using the FaceNet Architecture

Irvan Abraham Salihi
Department of Informatics
Universitas Ichsan Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
irvanabrahams@gmail.com

Irma Surya Kumala Idris
Department of Informatics
Universitas Ichsan Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
mhaladp@gmail.com

Yasin Aril Mustofa
Department of Informatics
Universitas Ichsan Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
arielccc@gmail.com

Zulfrianto Y Lamasigi
Department of Informatics
Universitas Ichsan Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
zulfrianto.dsn.unisan@gmail.com

Ardiansyah Kadir
Department of Informatics
Universitas Ichsan Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
ardiansyakadir07@gmail.com

Diterima : Mei 2026

Disetujui : Juli 2026

Dipublikasi : Juli 2026

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi sistem absensi wajah berbasis face embedding yang efisien dan akurat, serta mengatasi keterbatasan sistem absensi fingerprint yang masih digunakan di Universitas Ichsan Gorontalo. Sistem dikembangkan menggunakan model FaceNet untuk ekstraksi face embedding 512-dimensi, dengan perbandingan kemiripan wajah menggunakan Cosine Distance. Pengembangan sistem mengikuti metodologi Waterfall yang mencakup analisis, desain, implementasi, dan pengujian. Pengujian dilakukan melalui tiga pendekatan: White Box Testing untuk mengevaluasi logika pemrograman, Black Box Testing untuk validasi fungsionalitas, serta User Acceptance Testing (UAT) untuk mengukur kepuasan pengguna. Pengujian akurasi dilakukan pada tiga kondisi berbeda terhadap 10 relawan (7 terdaftar, 3 tidak terdaftar): ekspresi wajah datar (jarak 1 meter), ekspresi senyum (jarak 1 meter), dan jarak 5 meter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem memiliki kompleksitas logika rendah dengan nilai Cyclomatic Complexity (CC) sebesar 7, seluruh komponen fungsional beroperasi tanpa kesalahan signifikan, dan memperoleh tingkat kepuasan pengguna sebesar 84,53% (kategori B). Pengujian akurasi menghasilkan akurasi 90% pada kondisi ekspresi datar maupun senyum, namun menurun menjadi 60% pada jarak 5 meter. Waktu respons rata-rata sistem mencapai 1,2 detik dengan penggunaan memori kurang dari 2 GB. Penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem absensi wajah berbasis face embedding efektif dan efisien untuk digunakan dalam kondisi ekspresi wajah normal dan jarak dekat, serta direkomendasikan untuk diimplementasikan sebagai solusi absensi modern yang lebih akurat dan higienis.

Kata Kunci—absensi wajah; face embedding; FaceNet; verifikasi wajah; sistem real-time

Abstract—This study aims to develop and evaluate an efficient and accurate face embedding-based attendance system to address the limitations of the fingerprint-based attendance system still in use at Ichsan Gorontalo University. The system was developed using the FaceNet model for 512-dimensional face embedding extraction, with facial similarity comparison performed using Cosine Distance. The system development followed the Waterfall methodology, encompassing analysis, design, implementation, and testing phases. Testing was conducted through three approaches: White Box Testing to evaluate programming logic, Black Box Testing for functional validation, and User Acceptance Testing (UAT) to measure user satisfaction. Accuracy testing was performed under three different conditions involving 10 volunteers (7 registered, 3 unregistered): neutral facial expression (at 1 meter distance), smiling expression (at 1 meter distance), and 5-meter distance. The results demonstrate that the system exhibits low logical complexity with a Cyclomatic Complexity (CC) value of 7, all functional components operate without significant errors, and it achieved a user satisfaction rate of 84.53% (Grade B). Accuracy testing yielded 90% accuracy under both neutral and smiling expression conditions, but decreased to 60% at 5-meter distance. The system achieved an average response time of 1.2 seconds with memory usage below 2 GB. This study concludes that the face embedding-based attendance system is effective and efficient for use under normal facial expression conditions and close-range scenarios, and is recommended for implementation as a more accurate and hygienic modern attendance solution.

Keywords—face attendance; face embedding; FaceNet; face verification; real-time system

I. PENDAHULUAN

Sistem absensi merupakan komponen fundamental dalam pengelolaan sumber daya manusia yang di berbagai organisasi, baik di sektor korporasi maupun pendidikan. Penerapan sistem absensi yang efisien memungkinkan identifikasi pola kehadiran secara sistematis, yang pada gilirannya mendukung pengambilan keputusan terkait alokasi sumber daya dan perencanaan tenaga kerja [1], [2]. Di lingkungan pendidikan, pemantauan kehadiran juga berperan krusial dalam menilai partisipasi peserta didik serta mengidentifikasi individu yang memerlukan dukungan tambahan [3].

Perkembangan teknologi telah mendorong transformasi sistem absensi dari metode manual menuju sistem otomatis berbasis biometrik. Di antara berbagai teknologi biometrik yang tersedia, pengenalan wajah muncul sebagai solusi unggulan karena sifatnya yang non-kontak, tingkat keamanan tinggi, dan akurasi yang memadai [4], [5], [6]. Keunggulan ini menjadi sangat relevan pada masa pascapandemi, di mana kebutuhan akan teknologi kontak minimal semakin meningkat. Sistem pengenalan wajah memungkinkan pencatatan kehadiran secara otomatis dan real-time, sehingga proses absensi menjadi lebih cepat dan efisien [4], [5], [7], [8], [9].

Universitas Ihsan Gorontalo, sebagai objek penelitian ini, saat ini masih menggunakan sistem absensi berbasis fingerprint untuk mencatat kehadiran dosen dan tenaga pendidik. Meskipun sistem ini telah membantu proses pencatatan kehadiran, beberapa keterbatasan signifikan telah teridentifikasi. Ketergantungan pada perangkat khusus yang rentan terhadap kerusakan sering menghambat kelancaran operasional. Selain itu, kesulitan dalam pembacaan sidik jari sering terjadi akibat faktor lingkungan seperti kebersihan perangkat atau kondisi fisik pengguna seperti luka atau kulit kering. Sistem fingerprint yang ada juga belum terintegrasi dengan platform berbasis cloud, sehingga data kehadiran hanya dapat diakses dalam lingkungan lokal, membatasi fleksibilitas pemantauan real-time bagi pemangku kebijakan.

Keterbatasan tersebut mengindikasikan urgensi adopsi teknologi baru yang lebih fleksibel dan efisien. Face embedding, sebagai teknik yang mengonversi gambar wajah menjadi vektor multidimensi yang merepresentasikan ciri khas wajah secara kompak, menawarkan solusi inovatif untuk sistem pengenalan wajah. Berbeda dengan metode CNN klasifikasi yang mengharuskan retraining model secara keseluruhan untuk data baru, face embedding hanya mengandalkan perhitungan jarak vektor antara wajah baru dan database yang ada [10], [11], [12], [13]. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi tetapi juga menghasilkan representasi wajah yang lebih robust terhadap variasi kondisi seperti perubahan sudut pandang, pencahayaan, atau oklusi.

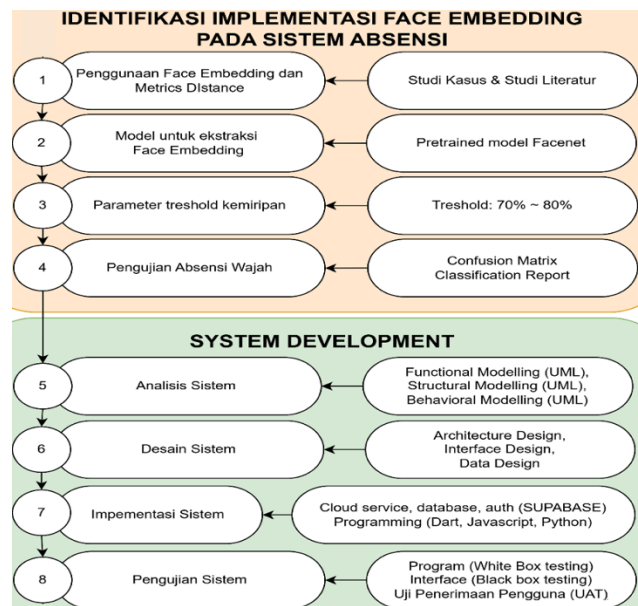
FaceNet merupakan salah satu model deep learning yang paling sukses dalam menghasilkan face embedding. Model ini dilatih menggunakan triplet loss untuk memaksimalkan jarak antar embedding dari individu berbeda dan meminimalkan jarak embedding dari individu yang sama. Pada benchmark Labeled Faces in the Wild (LFW), FaceNet mencapai akurasi lebih dari 99,6% [5], menunjukkan keandalannya dalam berbagai kondisi dunia nyata.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengembangkan sistem absensi wajah real-time berbasis face embedding menggunakan arsitektur FaceNet yang terintegrasi dengan cloud service; (2) mengevaluasi kinerja dan efisiensi sistem melalui white box testing, black box testing, dan user acceptance testing; serta (3) mengukur akurasi sistem pada berbagai kondisi yang merepresentasikan skenario penggunaan nyata, yaitu ekspresi wajah datar, ekspresi senyum, dan jarak pengambilan gambar 5 meter. Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi komprehensif kinerja sistem dalam menghadapi variasi kondisi yang sering ditemui dalam implementasi nyata di institusi pendidikan, serta integrasi dengan arsitektur berbasis cloud untuk mendukung aksesibilitas data secara real-time.

II. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian terapan dengan metode studi kasus dan pendekatan deskriptif. Subjek penelitian adalah dosen di lingkungan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Ihsan Gorontalo, sedangkan objek penelitian adalah sistem absensi berbasis face embedding.

Pada gambar 1 merupakan Prosedur penelitian yang dilakukan.



Gambar 1. Prosedur Tahapan Penelitian

A. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui tiga metode. Pertama, observasi langsung terhadap proses penggunaan sistem absensi oleh dosen, mencakup proses pendaftaran wajah, lokasi, dan waktu absensi. Kedua, pengumpulan data wajah dari sistem, di mana data pengguna berupa citra wajah dikumpulkan dan hasil ekstraksi face embedding disimpan dalam database untuk evaluasi kinerja. Ketiga, penyebaran kuesioner kepada subjek penelitian untuk memperoleh feedback terkait kepuasan dan kemudahan penggunaan sistem. Jumlah total wajah terdaftar sebanyak 15, kemudian 10 relawan diambil gambar wajah dari 3 kondisi berbeda yaitu, ekspresi datar jarak 1 meter, ekspresi senyum jarak 1 meter, dan ekspresi datar jarak 5 meter [14], [15].

B. Pengembangan Sistem

Pengembangan sistem mengikuti model waterfall dengan tahapan: analisis kebutuhan, desain sistem, implementasi, pengujian, deployment, dan pemeliharaan. Analisis dan desain sistem menggunakan pendekatan berorientasi objek dengan alat bantu UML, mencakup use case diagram, activity diagram, class diagram, dan sequence diagram.

Sistem dibangun dengan arsitektur client-server berbasis cloud menggunakan Supabase sebagai layanan database dan autentikasi. Frontend dikembangkan dengan ReactJS dan terintegrasi dengan backend menggunakan FastAPI (Python). WebRTC digunakan sebagai protokol streaming video real-time dari frontend ke backend untuk proses absensi.

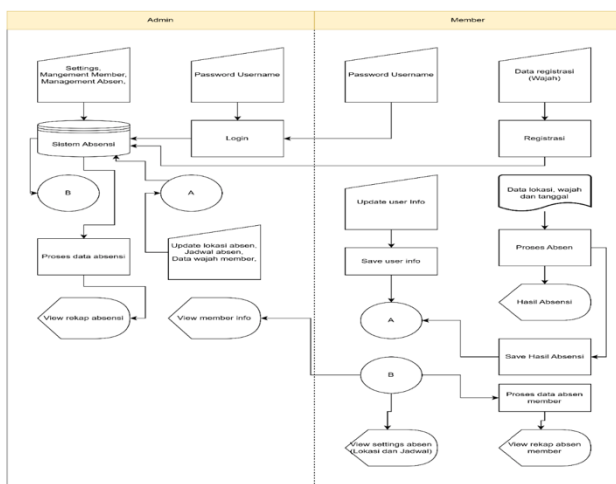
Implementasi face embedding menggunakan model FaceNet yang telah dilatih [5] dengan arsitektur Inception ResNet v1. Proses registrasi wajah melibatkan deteksi wajah menggunakan MTCNN, cropping area wajah, dan ekstraksi embedding 512-dimensi [16], [17]. Proses verifikasi dilakukan dengan menghitung cosine distance antara embedding yang diekstraksi dari frame video dengan embedding yang tersimpan di database [6], [14], [18].

Cosine distance didefinisikan sebagai:

$$\text{Cosine Distance} = 1 - (A \cdot B) / (||A|| \cdot ||B||) \quad (1)$$

di mana A dan B adalah vektor embedding yang dibandingkan. Nilai distance yang rendah (mendekati 0) menunjukkan kemiripan tinggi. Threshold ditetapkan sebesar 0,25 (setara dengan 75% kesamaan) berdasarkan pengujian awal untuk mengoptimalkan keseimbangan antara false acceptance dan false rejection.

Adapun diagram alur sistem yang diusulkan dapat dilihat pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Diagram Alur Sistem

Berdasarkan gambar 2, sistem manajemen absensi biometrik berbasis wajah ini membedakan dua aktor utama yaitu Admin dan Member setelah keduanya melakukan login menggunakan username dan password; bagi Admin, sistem akan menyediakan antarmuka Settings, Management Member, dan Management Absen yang memungkinkan pengelolaan data wajah anggota, pembaruan informasi pengguna yang disimpan melalui proses Save user info, pembaruan lokasi dan jadwal absen, serta pemrosesan data absensi untuk kemudian menghasilkan output berupa view

rekap absensi dan view informasi anggota, sementara bagi Member, sistem mengarahkan ke antarmuka Registrasi dan Data Absensi di mana member melakukan pendaftaran wajah sebagai proses enrollment biometrik dengan mengirimkan data lokasi, wajah, dan tanggal, kemudian sistem memproses data absen member dan menyimpan hasil update informasi pengguna melalui Save user info, sehingga member dapat melihat output hasil absensi (status berhasil atau tidak), melihat pengaturan absen yang telah ditentukan Admin, serta melihat riwayat rekap absensi pribadi; dengan demikian, flowchart ini menggambarkan bahwa Admin berperan sebagai super user dengan kendali penuh atas pengelolaan data anggota, jadwal, lokasi, dan rekap seluruh pengguna, sedangkan Member berperan sebagai end user yang melakukan registrasi wajah, absensi dengan mengirimkan data lokasi dan waktu, serta melihat riwayat absensi individu.

C. Analisis Sistem

Analisis sistem pada penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan berorientasi objek dengan Unified Modelling Language (UML) sebagai alat bantu pemodelan. Analisis mencakup tiga aspek utama: pemodelan fungsional, struktural, dan perilaku [16], [17], [19].

1. Pemodelan Fungsional

Pemodelan fungsional digambarkan melalui use case diagram dan activity diagram. Sistem melibatkan dua aktor utama: Admin dan Dosen. Admin memiliki hak akses penuh untuk mengelola data dosen, mereview registrasi wajah, mengelola data kehadiran, serta mengekstraksi face embedding dari gambar yang disetujui. Dosen berwenang melakukan absensi langsung (live attendance), mengelola profil pribadi, dan mengunggah gambar untuk registrasi wajah [12], [20].

Activity diagram memerinci alur kerja setiap use case. Proses live attendance menjadi inti sistem, dimulai dari inisiasi koneksi WebRTC, dilanjutkan dengan deteksi wajah pada setiap frame video, ekstraksi face embedding menggunakan model FaceNet, verifikasi melalui perhitungan cosine distance dengan basis data, hingga pencatatan absensi jika nilai kemiripan melebihi threshold 75% [5], [21].

2. Pemodelan Struktural

Class diagram mengidentifikasi lima kelas utama: Profiles, Attendances, Face Requests, Face Embeddings, dan Face Recognition Service. Kelas Profiles menjadi entitas pusat yang berelasi satu-ke-banyak dengan Attendances dan FaceRequests, serta satu-ke-satu dengan FaceEmbeddings. Kelas FaceRecognitionService memisahkan logika bisnis deteksi wajah dan ekstraksi embedding dari penyimpanan data, meningkatkan maintainability sistem [22].

3. Pemodelan Perilaku

Sequence diagram menggambarkan interaksi temporal antar objek. Diagram login menunjukkan alur autentikasi Google OAuth melalui Supabase. Diagram live attendance memerinci komunikasi antara frontend, backend, WebRTC, dan basis data selama proses absensi berlangsung. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem dirancang dengan pemisahan tanggung jawab yang jelas, mendukung integrasi cloud, serta mengakomodasi penambahan data wajah baru tanpa memerlukan retraining model [14], [23], [24].

D. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan melalui tiga tahap, yaitu: (1) White Box Testing Menguji logika pemrograman dengan menghitung Cyclomatic Complexity (CC) dari flowgraph program. Nilai $CC < 10$ menunjukkan kompleksitas rendah dan kode mudah dipelihara; (2) Black Box Testing untuk Menguji fungsionalitas sistem dengan fokus pada kesalahan fungsi, interface, struktur data, performa, dan inisialisasi/terminasi; dan (3) User Acceptance Testing (UAT) untuk Mengukur tingkat penerimaan pengguna melalui kuesioner dengan skala Likert 1-5 pada 10 aspek: tampilan, kemudahan pemahaman, kemudahan operasi, dukungan kebijakan, kemudahan penggunaan, keamanan, dokumentasi, kecanggihan teknologi, bebas error, dan kebutuhan implementasi[25], [26], [27]. Selain itu, pengujian akurasi sistem dilakukan terhadap sepuluh relawan dalam tiga kondisi: ekspresi netral (jarak 1 m), ekspresi senyum (jarak 1 m), dan jarak 5 m dengan ekspresi netral. Evaluasi menggunakan confusion matrix dan classification report dengan metrik precision, recall, F1-score, dan accuracy.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

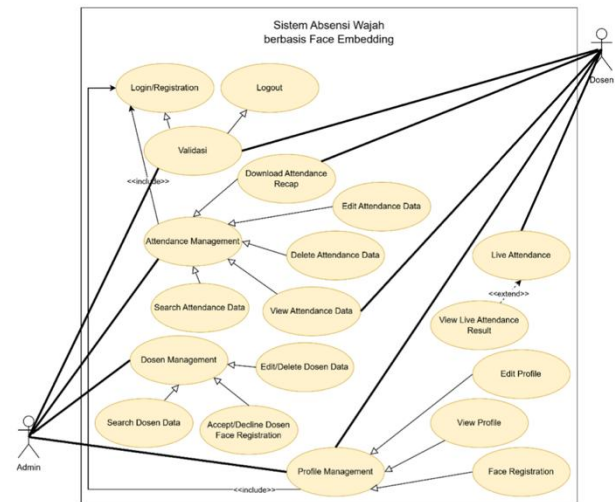
A. Hasil Pengembangan Sistem

Berdasarkan analisis kebutuhan, sistem dikembangkan dengan arsitektur yang terdiri dari tiga komponen utama: frontend berbasis ReactJS, backend berbasis FastAPI (Python), dan Supabase sebagai cloud database dan autentikasi. Sistem menyediakan fitur: login dengan Google OAuth, registrasi wajah, live attendance dengan WebRTC streaming, manajemen anggota (dosen), dan rekap data absensi [14], [18], [23].

Proses registrasi wajah dimulai dengan pengguna mengunggah citra wajah melalui form registrasi. Admin kemudian mengevaluasi kualitas gambar dan menyetujui atau menolak permohonan. Jika disetujui, backend mengekstraksi face embedding dari citra menggunakan model FaceNet dan menyimpannya dalam tabel `face_embeddings`. Proses ini hanya mendukung deteksi satu wajah per gambar untuk memastikan konsistensi data. Hasil ekstraksi disimpan dalam tabel `face_embeddings` sebagai vektor 512-dimensi.

Proses absensi real-time menggunakan WebRTC untuk streaming video dari kamera pengguna ke backend. Setiap frame video diproses untuk deteksi wajah menggunakan MTCNN, ekstraksi embedding menggunakan FaceNet, dan verifikasi dengan membandingkan embedding terhadap database menggunakan cosine distance. Jika kesamaan tertinggi melebihi threshold 75%, absensi dicatat dengan menyimpan `profile_id` dan `timestamp` ke database `attendances` [16], [17], [19], [28].

Gambar 3 menunjukkan Use Case Diagram sistem yang dikembangkan

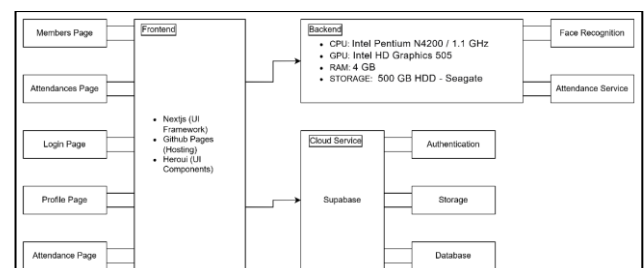


Gambar 3. Use Case Diagram Sistem

Gambar 3 di atas menjelaskan bahwa, sistem absensi wajah berbasis face embedding yang dikembangkan mencakup empat kelompok fungsional utama, yakni (1) manajemen sesi pengguna yang meliputi login/registration, logout, dan validasi identitas sesuai mekanisme face embedding; (2) manajemen absensi yang terdiri atas live attendance menggunakan streaming video real-time, view, search, edit, delete, download attendance recap, serta view live attendance result; (3) manajemen dosen oleh admin yang mencakup pengelolaan data dosen, edit/delete, pencarian, serta verifikasi keputusan penerimaan atau penolakan registrasi wajah dosen; dan (4) manajemen profil yang meliputi pengaturan profil, tampilan profil, serta registrasi wajah pengguna untuk diekstraksi menjadi face embedding.

B. Hasil Desain Sistem

Sistem ini menggunakan *Supabase* sebagai layanan *cloud* untuk mengelola *database*, autentikasi pengguna, serta penyimpanan gambar wajah. Frontend yang dikembangkan dengan *ReactJS* yang terintegrasi dengan *backend* yang dikembangkan menggunakan *python*. Selanjutnya, *backend* terhubung ke *Supabase* untuk memproses penyimpanan data dan otentikasi pengguna secara efisien. Sistem ini diimplementasikan dalam lingkungan berbasis web dengan dukungan *mobile-responsive*, memastikan aksesibilitas yang optimal baik dari perangkat desktop maupun *mobile*. Berikut pada gambar 4 merupakan digram arsitektur sistem yang digunakan.



Gambar 4. Diagram Arsitektur Sistem

Diagram diatas menggambarkan arsitektur sistem absensi wajah berbasis face embedding yang terdiri atas tiga lapisan utama. Lapisan frontend dikembangkan menggunakan Next.js sebagai UI framework, Heroui sebagai komponen antarmuka, serta Github Pages untuk proses ghosting.

Halaman yang tersedia meliputi Login Page, Profile Page, Members Page, dan Attendance Page. Lapisan backend mengandalkan Attendance Service dan Face Recognition yang berjalan pada perangkat dengan spesifikasi CPU Intel Pentium N4200, GPU Intel HD Graphics 505, RAM 4GB, dan penyimpanan HDD 500GB. Lapisan cloud service memanfaatkan Supabase untuk menangani autentikasi, penyimpanan objek, dan basis data. Seluruh komponen ini terintegrasi untuk mendukung proses verifikasi wajah dan pencatatan kehadiran secara real-time. Gambar 5 menunjukkan data design yang digunakan.



Gambar 5. Data Design: Table Relation

Gambar 5 tersebut menyajikan skema basis data relasional yang terdiri atas empat tabel utama. Tabel profiles berfungsi sebagai entitas utama dengan primary key id bertipe UUID, menyimpan data nama, gambar profil, banner, dan UID pengguna. Tabel attendances mencatat kehadiran dengan merujuk profile_id sebagai foreign key serta menyimpan data tambahan dalam format JSONB. Tabel face_requests menampung permohonan registrasi wajah pengguna sebelum diverifikasi. Tabel face_embeddings menyimpan vektor embedding hasil ekstraksi wajah beserta jalur gambar, dengan profile_id sebagai penghubung ke profil terkait.

C. Hasil Ekstraksi Face Embedding Registrasi Wajah

Pada tahap ini, administrator bertugas mengevaluasi kualitas gambar wajah yang diunggah oleh pengguna serta mengambil keputusan untuk menerima atau menolak permohonan registrasi berdasarkan kriteria teknis yang telah ditetapkan, seperti kejelasan visual, pencahayaan, serta posisi wajah. Selain itu, sistem backend menerapkan batasan teknis (technical constraints) dalam memproses data registrasi, yaitu hanya mendukung deteksi satu entitas wajah per gambar. Kebijakan ini bertujuan untuk memastikan akurasi dan konsistensi data biometrik yang disimpan dalam basis data, sekaligus mencegah ambiguitas yang dapat timbul apabila terdapat lebih dari satu wajah dalam satu citra.

Apabila administrator menyetujui permohonan registrasi wajah, sistem frontend akan mengirimkan permintaan melalui REST API ke backend server. Permintaan ini memuat data dari tabel face_requests, yang mencakup informasi penting seperti identitas pengguna dan lokasi penyimpanan gambar wajah yang telah diunggah. Selanjutnya, backend server memproses ekstraksi face embedding dari gambar tersebut guna menghasilkan representasi vektor wajah yang siap digunakan untuk proses verifikasi. Proses ekstraksi embedding di backend melibatkan

serangkaian langkah teknis yang terstruktur dan sistematis, seperti yang akan diuraikan pada bagian berikut.

1. Proses Request Registrasi Wajah

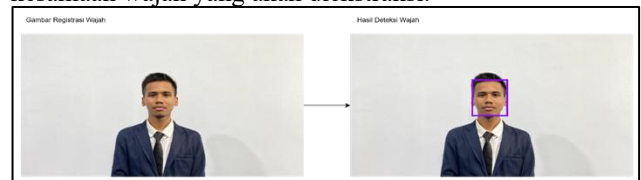
Backend menerima permintaan HTTP POST yang berisi identitas pengguna dan lokasi penyimpanan gambar wajah. Sistem hanya membolehkan administrator yang memiliki hak akses khusus untuk memanggil API ini, dengan menggunakan autentikasi berbasis token yang diverifikasi sebelum proses dimulai.

2. Pengambilan dan Preprocessing Gambar

Sistem mengambil gambar wajah dari layanan penyimpanan Supabase menggunakan URL atau referensi yang disertakan dalam tabel face_requests dari permintaan. Selanjutnya, gambar tersebut diproses untuk meningkatkan kualitas dan konsistensi sebelum dijadikan input ke model deteksi wajah. Langkah preprocessing meliputi mengubah buffer menjadi objek PIL.Image, memperbaiki orientasi gambar sesuai dengan metadata EXIF dan mengubah gambar ke format numpy array.

3. Deteksi Wajah Pada Gambar

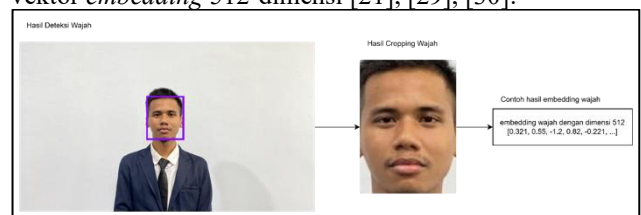
Setelah gambar registrasi telah diproses, sistem akan mendeteksi wajah yang ada dalam gambar menggunakan model deteksi wajah berbasis deep learning. Proses ini juga membatasi jumlah wajah yang dapat dideteksi dalam satu gambar menjadi satu, untuk memastikan konsistensi dan kesamaan wajah yang akan diekstraksi.



Gambar 6. Deteksi Wajah Saat Registrasi

4. Ekstraksi Embedding Registrasi Wajah

Setelah mendapatkan hasil deteksi wajah, sistem akan melakukan cropping area wajah sehingga embedding yang dihasilkan hanya akan merepresentasikan wajah tersebut tanpa latar belakang atau noise. Proses ekstraksi embedding menggunakan model FaceNet yang telah dilatih, sistem akan mengonversi gambar wajah yang telah diproses menjadi vektor embedding 512-dimensi [21], [29], [30].



Gambar 7. Cropping dan Ekstraksi Embedding Wajah

5. Menyimpan Hasil Registrasi Wajah ke Database

Jika gambar dari face_requests berhasil diproses dan menghasilkan embedding, data tersebut akan disimpan ke dalam tabel face_embeddings bersama dengan metadata seperti identitas pengguna dari tabel face_requests (profile_id) sebagai label, timestamp pembuatan, dan status verifikasi. Tabel ini akan digunakan sebagai data verifikasi yang akan digunakan untuk proses pencocokan wajah anggota saat absensi.

D. Hasil Proses Absensi Wajah

Proses absensi wajah dalam sistem ini menggunakan teknologi WebRTC sebagai mekanisme streaming video real-time dari kamera pengguna ke backend. Arsitektur ini

memungkinkan transmisi video dengan latensi rendah dan kualitas tinggi, yang esensial untuk aplikasi pengenalan wajah yang memerlukan respons cepat. Pada bagian *frontend* sistem bertugas untuk menginisiasi koneksi *WebRTC* ke *backend* dengan menggunakan kamera yang digunakan pengguna serta memberikan *feedback* terkait hasil deteksi dan verifikasi dari *backend* [14], [18].

Pada bagian *backend* sistem bertugas untuk menerima koneksi *streaming* video *WebRTC*, memproses setiap *frame* video yang diterima dan memberikan *feedback* hasil deteksi dan verifikasi melalui *WebRTC Data Channel*. Berikut merupakan runtutan proses absensi di *backend*:

a. Menerima Permintaan Koneksi Streaming Absensi

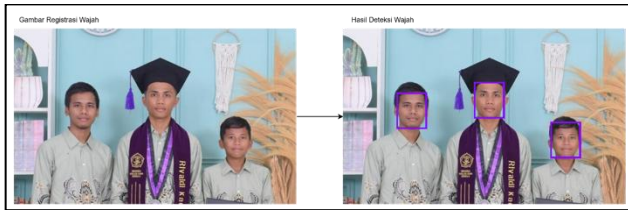
Tahap ini, *backend* menerima permintaan koneksi *WebRTC* dari *frontend*. Proses ini melibatkan pertukaran sinyal (*signaling*) untuk menyepakati parameter koneksi dan memastikan kompatibilitas antara *frontend* dan *backend*, jika koneksi berhasil terhubung nantinya setiap *frame* video dapat diproses pada *class method FaceAttendanceVideoTrack.recv* yang dibuat.

b. Memproses Setiap Frame Streaming Video Absensi

Setelah koneksi *streaming webrtc* berhasil, *backend* mulai menerima *frame* video secara berurutan. Setiap *frame* diproses secara individual untuk analisis wajah.

c. Deteksi Wajah Dalam Frame

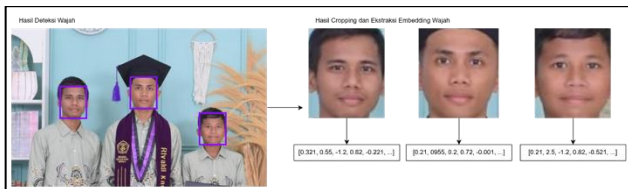
Pada tahap ini sistem menggunakan metode yang sama saat deteksi wajah pada proses registrasi wajah yaitu menggunakan model berbasis *deep learning* namun yang berbeda adalah pada tahap ini jumlah wajah tidak dibatasi.



Gambar 8. Sampel Hasil Deteksi Wajah

d. Ekstraksi Embedding Tiap Wajah

Setelah wajah berhasil di deteksi setiap wajah dalam *frame* akan di *cropping* berdasarkan *bouding box* deteksi lalu setiap hasil *cropping* wajah akan di ekstrak *embeddingnya* menggunakan model *FaceNet* yang telah dilatih dengan *output* pada setiap wajah yaitu *embedding* dengan dimensi 512 [20], [31].



Gambar 9. Sampel Hasil Cropping dan Ekstraksi Wajah

e. Verifikasi dan Absensi Embedding Wajah

Setelah proses ekstraksi face embedding selesai, setiap embedding wajah yang dihasilkan akan dibandingkan dengan semua embedding wajah yang telah tersimpan dalam database. Perbandingan ini dilakukan dengan menghitung

jarak antara embedding yang baru diekstraksi dengan setiap embedding dalam database menggunakan cosine distance. Rumus untuk cosine distance sebagai berikut [32], [33]:

$$\text{Cosine Distance} =$$

$$1 - \text{Cosine Similarity} = 1 - (A \cdot B) / (\|A\| \|B\|) \quad (1)$$

Nilai cosine distance berkisar antara 0 hingga 1. Dimana nilai cosine distance yang tinggi (mendekati 1) menunjukkan bahwa dua embedding wajah sangat berbeda, sedangkan nilai yang rendah (mendekati 0) menunjukkan bahwa embedding wajah sangat mirip.

Jika dalam database terdapat 5 anggota yang telah melakukan registrasi wajah sebagai berikut.

Tabel 1. Sampel Data Embedding

No	Profile_id	Embedding
1	Aldo	[0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 1.7, 0.8, 0.9, 1.0]
2	Aldi	[0.2, 0.3, 2.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.5, 0.1]
3	Mastin	[0.3, 0.4, 0.5, 2.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 0.1, 0.2]
4	Yayan	[0.4, 0.5, 0.6, 5.7, 0.8, 0.9, 1.0, 0.1, 0.2, 0.3]

Maka hasil ekstraksi embedding wajah dari hasil cropping wajah saat absensi adalah berikut:

$$A = [0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.6, 0.8, 0.9, 0.9]$$

Selanjutnya pada setiap data embedding wajah tiap anggota akan dibandingkan dengan embedding A menggunakan rumus cosine distance berikut [32], [33], [34]:

$$\|A\| = \sqrt{\sum_{k=1}^n A_k^2} = 1.8788 \quad (2)$$

a. Aldo (B_1)

$$\|B_1\| = \sqrt{\sum_{k=1}^n B_{1,k}^2} = 2.5$$

$$A \cdot B_1 = \sum_{k=1}^n A_k \cdot B_{1,k} = 4.28$$

$$\text{Cosine Distance} = 1 - \frac{A \cdot B_1}{\|A\| \|B_1\|} = 1 - \frac{4.28}{1.8788 \cdot 2.5} = 0.0887$$

b. Mastin (B_2)

$$\|B_3\| = \sqrt{\sum_{k=1}^n B_{3,k}^2} = 3.201$$

$$A \cdot B_3 = \sum_{k=1}^n A_k \cdot B_{3,k} = 3.379$$

$$\text{Cosine Distance} = 1 - \frac{A \cdot B_3}{\|A\| \|B_3\|} = 1 - \frac{3.379}{1.8788 \cdot 3.201} = 0.378$$

c. Yayan (B_3)

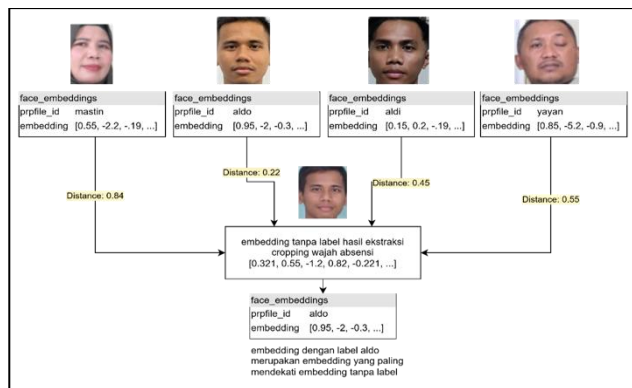
$$\|B_4\| = \sqrt{\sum_{k=1}^n B_{4,k}^2} = 5.5987$$

$$A \cdot B_4 = \sum_{k=1}^n A_k \cdot B_{4,k} = 4.67$$

$$\text{Cosine Distance} = 1 - \frac{A \cdot B_4}{\|A\| \|B_4\|} = 1 - \frac{4.67}{1.8788 * 5.5987} = 0.584$$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan bahwa *embedding* A yaitu hasil ekstraksi *embedding* wajah saat absensi memiliki kemiripan yang sangat tinggi dengan *embedding* B₁ atau Aldo dengan jarak sebesar 0.0887 atau persentase kemiripan yaitu 91%.

Gambar 10 berikut merupakan sampel hasil perhitungan jarak *embedding* wajah.



Gambar 10. Sampel Perhitungan Jarak Kemiripan Embedding Wajah

Jika tingkat kesamaan tertinggi yang diperoleh dari perbandingan ini melebihi atau sama dengan ambang batas (*threshold*) 75%, sistem akan menganggap wajah tersebut berhasil diidentifikasi. dalam hal ini, sistem akan merekam absensi dengan menyimpan informasi *profile_id* yang sesuai dengan *embedding* wajah yang dikenali ke dalam *database* absensi.

E. Hasil Pengujian Sistem

Berdasarkan hasil pengujian, sistem absensi wajah berbasis face embedding ini telah memenuhi kriteria kelayakan secara teknis dan fungsional, yang dibuktikan melalui pengujian White Box yang menunjukkan nilai Cyclomatic Complexity sebesar 7 dengan seluruh 7 jalur independen berhasil dieksekusi tanpa kesalahan sehingga mengindikasikan kompleksitas logika program yang rendah serta kemudahan pemeliharaan kode, pengujian Black Box yang mengonfirmasi bahwa seluruh 19 fungsi sistem meliputi navigasi antarmuka, operasi data, dan proses autentikasi beroperasi sesuai harapan tanpa kesalahan fungsional maupun kesalahan akses basis data, serta User Acceptance Testing (UAT) terhadap 15 responden dosen yang menghasilkan tingkat penerimaan sebesar 84,53% (kategori B), dengan skor tertinggi pada aspek kemudahan penggunaan (89,33%) dan pemahaman aplikasi (88%), serta skor terendah pada aspek dukungan terhadap kebijakan (74,66%) dan keamanan aplikasi (78,66%), yang secara keseluruhan menunjukkan bahwa sistem mudah dipahami dan dioperasikan meskipun masih memerlukan peningkatan pada sosialisasi kebijakan dan persepsi keamanan.

F. Hasil Pengujian Akurasi

Tabel 2. Ringkasan Hasil Pengujian Akurasi Pada Tiga Kondisi

Kondisi pengujian	Akurasi	Precision (Dikenali)	Recall (Dikenali)	F1-Score (Dikenali)
Ekspresi datar (1m)	90%	1,00	0,86	0,92

Kondisi pengujian	Akurasi	Precision (Dikenali)	Recall (Dikenali)	F1-Score (Dikenali)
Ekspresi senyum (1m)	90%	1,00	0,86	0,92
Jarak 5 meter	60%	1,00	0,43	0,60

Pada kondisi ekspresi wajah datar dan senyum dengan jarak 1 meter, sistem mencapai akurasi 90%. False negative terjadi pada satu pengguna terdaftar (Adrian) yang tidak berhasil terverifikasi pada kedua kondisi, kemungkinan disebabkan oleh karakteristik wajah yang kurang optimal untuk diekstraksi fiturnya. Nilai precision 1,00 untuk kelas "Dikenali" mengindikasikan bahwa tidak terdapat false positive (wajah tidak terdaftar yang salah dikenali), yang merupakan aspek krusial untuk keamanan sistem absensi.

Pada kondisi jarak 5 meter, akurasi sistem menurun drastis menjadi 60%. Dari 7 pengguna terdaftar, hanya 3 yang berhasil terverifikasi, sementara 4 lainnya menghasilkan false negative. Penurunan ini disebabkan oleh resolusi area wajah yang terlalu kecil pada jarak 5 meter, sehingga fitur-fitur wajah yang diekstraksi menjadi tidak optimal untuk proses pencocokan vektor embedding.

G. Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem absensi wajah berbasis face embedding dengan arsitektur FaceNet memiliki kinerja yang baik dalam kondisi operasional normal, yaitu pada jarak dekat dengan pencahayaan yang memadai. Tingkat akurasi yang dicapai mencapai 90%, yang mengindikasikan bahwa sistem cukup andal untuk digunakan pada kondisi tersebut. Variasi hasil yang mungkin muncul antarpengujian dapat diatribusikan pada perbedaan kondisi pengujian dan karakteristik dataset yang digunakan.

Keunggulan utama sistem ini terletak pada kemampuannya untuk menangani data pengguna baru tanpa memerlukan pelatihan ulang model, sesuai dengan prinsip dasar face embedding. Pendekatan ini sangat menguntungkan bagi institusi yang mengalami fluktuasi jumlah pengguna secara dinamis. Selain itu, integrasi dengan layanan cloud memungkinkan akses data secara real-time dari berbagai lokasi, sehingga mengatasi keterbatasan sistem konvensional yang hanya dapat diakses dalam lingkungan lokal.

Penurunan akurasi yang signifikan pada jarak 5 meter mengindikasikan adanya batasan teknis yang perlu diatasi. Variasi skala dan resolusi gambar tetap menjadi tantangan dalam sistem pengenalan wajah, meskipun arsitektur deep learning modern telah meningkatkan ketahanan (*robustness*) terhadap berbagai kondisi. Oleh karena itu, rekomendasi untuk implementasi praktis adalah menempatkan perangkat kamera pada jarak optimal 1–2 meter dari posisi pengguna saat melakukan absensi.

Dari perspektif penerimaan pengguna, skor UAT sebesar 84,53% menunjukkan bahwa sistem ini layak untuk diimplementasikan secara luas. Skor tertinggi pada aspek kemudahan penggunaan mengonfirmasi bahwa antarmuka berbasis web dengan mekanisme live streaming dan umpan balik visual memberikan pengalaman pengguna yang positif. Namun, skor yang lebih rendah pada aspek keamanan mengindikasikan perlunya edukasi lebih lanjut kepada

pengguna mengenai mekanisme autentikasi dan perlindungan data biometrik.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem absensi wajah real-time berbasis face embedding menggunakan arsitektur FaceNet yang terintegrasi dengan cloud service. Sistem mampu mengelola dan mencatat kehadiran dosen dengan efisiensi tinggi, ditunjukkan oleh nilai Cyclomatic Complexity 7 yang mengindikasikan kompleksitas logika rendah dan kemudahan pemeliharaan kode. Pengujian fungsional mengonfirmasi seluruh komponen beroperasi dengan baik tanpa kesalahan signifikan. Tingkat kepuasan pengguna mencapai 84,53% (kategori B), menandakan sistem mudah dipahami dan dioperasikan. Pengujian akurasi menunjukkan sistem mencapai performa 90% pada kondisi ekspresi datar dan senyum pada jarak 1 meter, namun menurun menjadi 60% pada jarak 5 meter. Hal ini menunjukkan bahwa sistem efektif untuk aplikasi absensi dalam kondisi normal dan jarak dekat, tetapi memerlukan optimasi lebih lanjut untuk skenario jarak jauh. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa teknik face embedding merupakan solusi yang efektif dan efisien untuk sistem absensi wajah, serta layak diimplementasikan sebagai pengganti sistem fingerprint di lingkungan institusi pendidikan. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan: (1) mengoptimalkan sistem untuk skala absensi lebih luas dengan pengelompokan face embedding; (2) menyediakan Application Programming Interface (API) untuk integrasi dengan sistem yang sudah ada; (3) mengoptimasi struktur program dan dimensi embedding (128 dimensi) untuk efisiensi komputasi; dan (4) meningkatkan akurasi jarak jauh melalui penggunaan kamera resolusi tinggi atau arsitektur FaceNet dengan input resolusi lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Fakultas Ilmu Komputer Universitas Ichsan Gorontalo atas segala dukungan, fasilitas, serta izin pelaksanaan penelitian yang telah diberikan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh dosen dan tenaga kependidikan di lingkungan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Ichsan Gorontalo yang telah berpartisipasi sebagai subjek penelitian serta memberikan masukan berharga selama proses pengumpulan data dan pengujian sistem.

REFERENSI

- [1] F. N. Adliansyah, H. Holilah, and N. Krisdianto, "Sistem Absensi Berbasis Face Recognition dengan Model Inception-Resnet," *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, vol. 4, no. 4, pp. 2111–2118, 2026, doi: 10.31004/riggs.v4i4.3545.
- [2] I. Adjabi, A. Ouahabi, A. Benzaoui, and A. Taleb-Ahmed, "Past, Present, and Future of Face Recognition: A Review," *Electronics*, vol. 9, no. 8, p. 1188, Aug. 2020, doi: 10.3390/electronics9081188.
- [3] T. M. Tamtelahitu, J. Sambono, and J. E. Unenor, "Perancangan Sistem Absensi Pintar Mahasiswa Menggunakan Teknik Qr Code Dan Geolocation," *JIPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)*, vol. 6, no. 1, pp. 114–125, Jun. 2021, doi: 10.29100/jipi.v6i1.1894.
- [4] F. F. Abdullah and S. Agustin, "Penerapan Biometric Face Recognition Menggunakan Metode Convolutional Neural Network Pada Aplikasi Berbasis Android," *Indexia*, vol. 6, no. 1, pp. 1–11, May 2024, doi: 10.30587/indexia.v6i1.4958.
- [5] N. E. Christyanto, E. M. A. Jonemaro, and N. Yudistira, "Pengembangan Aplikasi Android Presensi Kehadiran Realtime menggunakan Pengenalan Wajah dengan Model Facenet," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 6, no. 10, pp. 4839–4847, Oct. 2022.
- [6] M. S. M. Suhaimin, M. H. A. Hijazi, C. S. Kheau, and C. K. On, "Real-time mask detection and face recognition using eigenfaces and local binary pattern histogram for attendance system," *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 10, no. 2, pp. 1105–1113, Apr. 2021, doi: 10.11591/eei.v10i2.2859.
- [7] S. Policepatil and S. M. Hatture, "Face Liveness Detection: An Overview," *IJSRST*, pp. 22–29, Jul. 2021, doi: 10.32628/IJSRST21843.
- [8] B. O. Siahaan and N. Ekawati, "Implementasi Pengenalan Wajah Untuk Absensi Karyawan Dengan Metode Eigenface," *Computer and Science Industrial Engineering (COMASIE)*, vol. 5, no. 5, pp. 19–28, Jul. 2021.
- [9] D. Balakrishnan, U. Mariappan, S. V. Kumar, M. D. Kumar, M. R. S. Reddy, and E. M. K. Reddy, "Student Attendance Tracking Management using Face Biometric Smart System," in *2024 4th International Conference on Intelligent Technologies (CONIT)*, Jun. 2024, pp. 1–7, doi: 10.1109/CONIT61985.2024.10626516.
- [10] A. P. Y. Waroh, N. Sajangbati, S. K. Sawidin, M. A. S. Kondo, and T. J. W. T. J. Wungkana, "Sistem Keamanan Rumah Melalui Pengenalan Wajah Dengan Webcam Berbasis Raspberry Pi4," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 07–12, Jan. 2024, doi: 10.37905/jjee.v6i1.21714.
- [11] M. Munawir, L. Fitria, and M. Hermansyah, "Implementasi Face Recognition Pada Absensi Kehadiran Mahasiswa Menggunakan Metode Haar Cascade Classifier," *InfoTekJar: Jurnal Nasional Informatika dan Teknologi Jaringan*, vol. 4, no. 2, pp. 314–320, May 2020, doi: 10.30743/infotekjar.v4i2.2333.
- [12] "Realization of Facial Recognition Technology for Attendance Monitoring Through Biometric Modalities Employing MTCNN Integration | SN Computer Science | Springer Nature Link." Accessed: May 06, 2026. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42979-024-03225-1>
- [13] Prof. Dr. Paul McCullagh, "Face detection by using Haar Cascade Classifier," *WJCMS*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, Mar. 2023, doi: 10.31185/wjcm.109.
- [14] F. M. García, S. Schez-Sobrino, C. Glez-Morcillo, J. J. Castro-Schez, J. A. Albusac, and D. Vallejo, "RTC-MR: A WebRTC-based framework for real-time communication in Mixed Reality," *Software Impacts*,

- vol. 23, p. 100727, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.simpa.2024.100727.
- [15] K. Vidhya, *Facial Recognition System with Lbph Algorithm: Implementation in Python for Machine Learning*. 2nd International Conference on Intelligent Cyber Physical Systems and Internet of Things, ICoICI 2024 - Proceedings, 2024. doi: 10.1109/ICoICI62503.2024.10696268.
- [16] M. Afshar, Y. Gao, D. Gupta, E. Croxford, and D. Demner-Fushman, "On the role of the UMLS in supporting diagnosis generation proposed by Large Language Models," *Journal of Biomedical Informatics*, vol. 157, p. 104707, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.jbi.2024.104707.
- [17] "A Novel Unified Framework for Automated Generation and Multimodal Validation of UML Diagrams," *CMES - Computer Modeling in Engineering and Sciences*, vol. 146, no. 1, Jan. 2026, doi: 10.32604/cmes.2025.075442.
- [18] R. A. Kırmızıoğlu, A. M. Tekalp, and B. Gökemli, "Distributed virtual selective-forwarding units and SDN-assisted edge computing for optimization of multi-party WebRTC videoconferencing," *Signal Processing: Image Communication*, vol. 130, p. 117173, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.image.2024.117173.
- [19] A. Bates, R. Vavricka, S. Carleton, R. Shao, and C. Pan, "Unified modeling language code generation from diagram images using multimodal large language models," *Machine Learning with Applications*, vol. 20, p. 100660, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.mlwa.2025.100660.
- [20] N. Beri, V. Srivastava, and N. Malik, "Face Recognition Attendance Management System using LBPH and Haar Cascade," *J. Trends Comput. Sci. Smart Technol.*, vol. 6, no. 3, pp. 257–273, Aug. 2024, doi: 10.36548/jtcsst.2024.3.004.
- [21] F. Schroff, D. Kalenichenko, and J. Philbin, "FaceNet: A unified embedding for face recognition and clustering," presented at the 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE Computer Society, Jun. 2015, pp. 815–823. doi: 10.1109/CVPR.2015.7298682.
- [22] R. S. J. Larosa and E. P. Malau, "Perancangan Aplikasi Absensi Berbasis Mobile dengan Penerapan Face Recognition Dengan Model Face Net," *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, vol. 5, no. 1, pp. 3710–3721, Feb. 2026, doi: 10.31004/riggs.v5i1.6727.
- [23] D. W. R. Prameswara, D. P. Kartikasari, and F. A. Bakhtiar, "Implementasi WebRTC pada Sistem Multimedia Teleconference untuk Komunikasi Pembelajaran Tunarungu," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 7, no. 2, pp. 540–543, Mar. 2023.
- [24] N. Smirnov and S. Tomforde, "Real-time rate control of WebRTC video streams in 5G networks: Improving quality of experience with Deep Reinforcement Learning," *Journal of Systems Architecture*, vol. 148, p. 103066, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.sysarc.2024.103066.
- [25] W. Wulandari, N. Nofiyani, and H. Hasugian, "User Acceptance Testing (Uat) Pada Electronic Data Preprocessing Guna Mengetahui Kualitas Sistem," *Jurnal Mahasiswa Ilmu Komputer*, vol. 4, no. 1, pp. 20–27, Mar. 2023, doi: 10.24127/ilmukomputer.v4i1.3383.
- [26] I. Otaduy and O. Diaz, "User acceptance testing for Agile-developed web-based applications: Empowering customers through wikis and mind maps," *Journal of Systems and Software*, vol. 133, pp. 212–229, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.jss.2017.01.002.
- [27] X.-F. Sun, "Exploring key factors influencing urban air transport Acceptance: A trust and Risk-Embedded UTAUT2 framework," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 116, p. 103448, Jan. 2026, doi: 10.1016/j.trf.2025.103448.
- [28] T. Roy, A. Bertaux, O. Labbani Narsis, J.-P. Didier, and D. Laroche, "Unified modeling language for patient-centered telerehabilitation: A comprehensive framework integrating medical and biopsychosocial pathways," *International Journal of Medical Informatics*, vol. 199, p. 105882, Jul. 2025, doi: 10.1016/j.ijmedinf.2025.105882.
- [29] "FaceNet-Based CNN Architecture for Enhanced Attendance Monitoring System | Research Square." Accessed: May 06, 2026. [Online]. Available: <https://www.researchsquare.com/article/rs-4509942/v1>
- [30] "FaceNet - Using Facial Recognition System," GeeksforGeeks. Accessed: May 06, 2026. [Online]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/machine-learning/facenet-using-facial-recognition-system/>
- [31] K. Kushwaha, S. Rahul, S. Eliyaz, C. Reddy, A. K, and T. R. K. Rao, "A CNN Based Attendance Management System Using Face Recognition," in *2023 4th International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC)*, Sep. 2023, pp. 880–884. doi: 10.1109/ICOSEC58147.2023.10276353.
- [32] M. García-Márquez, N. Rodríguez-Barroso, M. V. Luzón, and F. Herrera, "Improving (α, f) -Byzantine resilience in federated learning via layerwise aggregation and cosine distance," *Knowledge-Based Systems*, vol. 326, p. 114004, Sep. 2025, doi: 10.1016/j.knosys.2025.114004.
- [33] S. Sahoo and J. Maiti, "Variance-Adjusted Cosine Distance as Similarity Metric," Feb. 04, 2025, *arXiv:arXiv:2502.02233*. doi: 10.48550/arXiv.2502.02233.
- [34] M. Rahim, H. Garg, F. Amin, L. Perez-Dominguez, and A. Alkhayyat, "Improved cosine similarity and distance measures-based TOPSIS method for cubic Fermatean fuzzy sets," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 73, pp. 309–319, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.aej.2023.04.057.