

Analisis Kinerja InsightFace (Buffalo_S) dan Qdrant sebagai Basis Data Vektor pada Sistem Presensi *Walk Through*

*Doni Fristiyanto¹, Sajarwo Anggai², Arya Adhyaksa Waskita³

^{1,2,3} Teknik Informatika S-2, Program Pascasarjana, Universitas Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Banten
e-mail: ¹firstiyanto@gmail.com, ²sajarwo@gmail.com, ³aawaskita@gmail.com

Abstrak—Penelitian ini menyajikan analisis kinerja sistem presensi *walk-through* berbasis pengenalan wajah dengan mengintegrasikan framework InsightFace menggunakan model Buffalo_S dan basis data vektor Qdrant. Tujuan utama penelitian ini adalah mengevaluasi keandalan, akurasi, dan skalabilitas sistem pada skenario operasional berskala besar. Sistem yang diusulkan memanfaatkan RetinaFace untuk deteksi dan penyalarsan wajah, serta Buffalo_S untuk mengekstraksi *embedding* wajah berdimensi 512. Qdrant digunakan sebagai mesin pencarian vektor dengan dukungan algoritma Hierarchical Navigable Small World (HNSW) guna mempercepat proses pencarian kemiripan. Evaluasi sistem dilakukan menggunakan protokol face verification (1:1) dan face identification (1:N), dengan metrik evaluasi meliputi False Acceptance Rate (FAR), False Rejection Rate (FRR), serta analisis latensi sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mencapai tingkat akurasi sebesar 94,66% pada skenario 4.975 identitas, dengan nilai EER sebesar 8,80%. Selain itu, rata-rata latensi end-to-end sistem tercatat sebesar 28,70 ms, yang memungkinkan pemrosesan *real-time* dengan kecepatan lebih dari 30 frame per second. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi InsightFace Buffalo_S dan Qdrant merupakan solusi yang akurat, efisien, dan skalabel untuk mendukung sistem presensi *walk-through* di lingkungan operasional nyata.

Kata Kunci—*pengenalan wajah; presensi walk-through; InsightFace; Buffalo_S; Qdrant; basis data vektor*

I. PENDAHULUAN

Digitalisasi sistem kehadiran (presensi) telah menjadi standar operasional di berbagai institusi pendidikan, baik sekolah maupun perguruan tinggi. Namun, implementasi di lapangan sering menghadapi kendala teknis. Hal ini menyebabkan beberapa institusi kembali menggunakan metode manual yang tidak hanya menghambat efisiensi administrasi, tetapi juga berdampak pada akurasi penilaian dan kualitas kegiatan belajar mengajar secara keseluruhan serta rawan dari manipulasi [1], [2], [3], [4]. Salah satu hambatan utama adalah terjadinya antrean panjang pada jam masuk kelas akibat rendahnya kecepatan proses identifikasi sistem. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan sistem presensi berbasis *walk-through* yang mampu mengenali identitas siswa secara *real-time* tanpa mengharuskan mereka berhenti di depan perangkat sensor.[1], [5]

Seiring dengan kemajuan Computer Vision dan Deep Learning, teknologi pengenalan wajah (face recognition) telah berkembang menjadi solusi biometrik yang sangat efektif. Berbeda dengan metode biometrik lainnya, pengenalan wajah bersifat non-intrusif dan mampu beroperasi secara otomatis dalam lingkungan terbuka. Keunggulan ini membuat teknologi tersebut banyak diadopsi dalam berbagai domain, mulai dari pengawasan (surveillance), autentikasi biometrik, hingga sistem presensi berskala besar. Sistem presensi berbasis pengenalan wajah juga telah banyak diterapkan pada institusi pendidikan.[2], [3], [4], [6]

Namun, tantangan utama dalam implementasi sistem pada skala besar bukan hanya terletak pada akurasi deteksi, melainkan juga pada efisiensi komputasi dan stabilitas performa saat menangani ribuan identitas[7]. Evaluasi performa sistem pengenalan wajah tidak lagi cukup hanya menggunakan metrik klasifikasi sederhana seperti *accuracy*. Diperlukan pendekatan evaluasi yang lebih representatif terhadap kondisi operasional nyata, seperti penggunaan analisis *False Acceptance Rate* (FAR) dan *False Rejection Rate* (FRR).

InsightFace muncul sebagai salah satu kerangka kerja (framework) open-source mutakhir yang mengintegrasikan deteksi wajah berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN), facial landmark, hingga ekstraksi fitur menggunakan model deep *embedding* berbasis ArcFace[8], [9]. Di dalam ekosistem InsightFace, model *pretrained* Buffalo_S dirancang khusus untuk mencapai keseimbangan optimal antara akurasi tinggi dan efisiensi sumber daya, menjadikannya kandidat kuat untuk aplikasi *real-time*.

Meskipun model Buffalo_S telah banyak diimplementasikan, kajian akademik yang mengevaluasi performanya secara spesifik pada skala besar dengan protokol *verification-based* masih sangat terbatas. Mayoritas penelitian sebelumnya cenderung berfokus pada perbandingan arsitektur dasar atau pengujian pada dataset skala kecil, yang belum sepenuhnya merepresentasikan kompleksitas pencarian data pada sistem dunia nyata yang melibatkan ribuan hingga jutaan *embedding*.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis performa sistem pengenalan wajah menggunakan model Buffalo_S dari InsightFace pada skala besar. Untuk mendukung proses pencarian yang cepat dan efisien, penelitian ini memanfaatkan Qdrant

sebagai vector database untuk menyimpan dan melakukan pencarian nearest neighbor pada *embedding* wajah berdimensi 512. Evaluasi dilakukan melalui protokol verifikasi wajah dengan mengukur metrik FAR/FRR guna mengetahui kemampuan sistem dalam membedakan pasangan wajah genuine dan impostor. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah:

1. Melakukan evaluasi komprehensif terhadap performa model Buffalo_S pada skala ribuan identitas menggunakan protokol verifikasi wajah.
2. Menyajikan analisis mendalam melalui kurva EER sebagai indikator reliabilitas sistem dalam kondisi operasional nyata.
3. Menganalisis efektivitas integrasi InsightFace dengan vector database Qdrant dalam mendukung sistem presensi *walk-through* yang skalabel dan responsif.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan sebagai referensi teknis bagi pengembang dan peneliti dalam merancang sistem pengenalan wajah yang menyeimbangkan antara akurasi, kecepatan, dan kemampuan skalabilitas.

II. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini mencakup perancangan dan evaluasi sistem presensi *walk through* berbasis pengenalan wajah yang mengintegrasikan model deteksi dan ekstraksi fitur dari InsightFace serta manajemen basis data vektor menggunakan Qdrant[8], [9]. Tahapan penelitian dibagi ke dalam beberapa fase utama, meliputi: pengumpulan dataset, pra-pemrosesan (deteksi dan *alignment* wajah), ekstraksi fitur (*embedding*), manajemen basis data vektor, serta protokol evaluasi performa sistem.

A. Arsitektur Sistem

Sistem yang dikembangkan mengikuti alur kerja (*pipeline*) pengenalan wajah modern yang dirancang untuk menangani input video secara *real-time* pada skenario presensi *walk through*. Secara umum, arsitektur sistem terdiri dari komponen-komponen berikut:

1. *Face Detection* (RetinaFace)
Melokalisasi wajah pada setiap frame video serta mendeteksi lima titik *landmark* wajah.
2. *Face Alignment*
Melakukan transformasi afinitas untuk menyelaraskan posisi wajah berdasarkan titik *landmark* (mata, hidung, dan mulut), sehingga wajah berada pada posisi yang konsisten sebelum proses ekstraksi fitur.
3. *Feature Extraction* (Buffalo_S)
Mengonversi citra wajah yang telah diselaraskan menjadi vektor *embedding* numerik berdimensi 512.
4. *Vector Storage and Search* (Qdrant)
Bertfungsi sebagai mesin basis data vektor untuk menyimpan *embedding* serta melakukan pencarian kemiripan (*similarity search*) menggunakan indeks *Hierarchical Navigable Small World* (HNSW).

B. Model Deteksi dan Ekstraksi Fitur (InsightFace)

Penelitian ini memanfaatkan paket model Buffalo_S dari framework InsightFace, yang merupakan kombinasi model ringan (*lightweight*) dan efisien untuk keperluan deteksi serta pengenalan wajah pada sistem *real-time*.

1) RetinaFace sebagai Face Detector

RetinaFace digunakan sebagai komponen pendeteksi wajah karena kemampuannya dalam melakukan *multi-task learning*. Model ini secara simultan memprediksi bounding box, skor klasifikasi wajah, serta lima titik landmark wajah. Kemampuan tersebut sangat penting pada skenario presensi tanpa henti (*walk through*), di mana subjek berada dalam kondisi bergerak. *Alignment* wajah yang akurat berdasarkan landmark secara langsung memengaruhi kualitas *embedding* yang dihasilkan.

2) Buffalo_S (ArcFace) sebagai Feature Extractor

Model Buffalo_S merupakan varian ringan yang menggunakan fungsi *loss* ArcFace (*Additive Angular Margin Loss*). Fungsi ini bertujuan untuk memaksimalkan margin sudut antar kelas sehingga meningkatkan daya diskriminasi fitur wajah dalam ruang vektor, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$L = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log \frac{e^{s(\cos(\theta_{y_i} + m))}}{e^{s(\cos(\theta_{y_i} + m))} + \sum_{j=1, j \neq y_i}^n e^{s \cos \theta_j}} \quad (1)$$

Dimana pada Persamaan (1) diketahui s sebagai faktor skala fitur, m sebagai margin sudut, dan sebagai sudut antara vektor fitur dan vektor bobot kelas.

Penggunaan Buffalo_S bertujuan untuk mencapai keseimbangan antara latensi rendah dan akurasi pengenalan yang tinggi, sehingga sesuai untuk implementasi sistem presensi *real-time*

C. Integrasi Basis Data Vektor Qdrant

Tabel Qdrant diimplementasikan untuk menangani tantangan skalabilitas pencarian identitas pada sistem presensi berskala besar. Berbeda dengan pencarian linear yang memiliki kompleksitas $O(N)$, Qdrant menggunakan algoritma *Hierarchical Navigable Small World* (HNSW) untuk melakukan pencarian *Approximate Nearest Neighbor* (ANN) secara efisien. Pendekatan ini

memungkinkan proses pencarian identitas dilakukan dalam waktu milidetik meskipun jumlah *embedding* yang tersimpan mencapai ribuan. Metrik jarak yang digunakan dalam penelitian ini adalah Cosine Similarity, yang didefinisikan dalam Persamaan (2) sebagai berikut:

$$\text{cosine}(A, B) = \frac{A \cdot B}{|A||B|} \quad (2)$$

D. Alur Proses Presensi Walk Through

Sistem dirancang bekerja secara asinkron untuk menjamin kelancaran proses presensi tanpa mengganggu pergerakan pengguna. Alur proses presensi meliputi tahapan berikut:

1. *Stream Capture*: kamera menangkap aliran video secara kontinu, dan RetinaFace melakukan deteksi wajah pada setiap frame.
2. *Alignment dan Inference* : Wajah yang terdeteksi diselaraskan, kemudian diekstraksi menjadi vektor fitur (*embedding*) berdimensi 512 yang merepresentasikan karakteristik unik wajah.
3. *Vector Query*
Embedding dikirim ke Qdrant melalui API untuk dilakukan pencarian kemiripan terhadap data identitas yang telah terdaftar.
4. *Thresholding dan Pencatatan Presensi*
Hasil pencarian dievaluasi dengan mengukur tingkat kemiripan *embedding* wajah terhadap ambang batas (*threshold*) tertentu. Identitas yang memenuhi kriteria tersebut diklasifikasikan sebagai individu yang dikenali dan selanjutnya dicatat ke dalam sistem presensi.

E. Protokol Evaluasi

Untuk mengukur reliabilitas dan kinerja sistem pengenalan wajah dalam kondisi operasional nyata, penelitian ini menerapkan dua protokol evaluasi utama, yaitu Face Verification (1:1) dan Face Identification (1:N). Kedua protokol ini digunakan untuk mengevaluasi performa sistem dalam skenario autentikasi dan identifikasi berbasis *embedding* wajah. Subbab ini berfokus pada definisi protokol evaluasi dan metrik yang digunakan untuk menilai kinerja sistem pengenalan wajah.

1) Face Verification (1:1)

Protokol *Face Verification* (1:1) digunakan untuk menguji kemampuan sistem dalam memverifikasi apakah dua citra wajah yang dibandingkan berasal dari individu yang sama. Pada skenario ini, sistem menghitung jarak kesamaan (*similarity distance*) antara dua *embedding* wajah hasil ekstraksi model Buffalo_S.

Keputusan verifikasi ditentukan berdasarkan nilai ambang batas (*threshold*) tertentu. Jika jarak antar *embedding* berada di bawah ambang batas, maka sistem menyatakan pasangan wajah sebagai *genuine match*, dan jika sebaliknya pasangan tersebut diklasifikasikan sebagai *impostor*.

2) Face Identification (1:N)

Protokol *Face Identification* (1:N) digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengidentifikasi identitas individu yang benar dari sejumlah besar *embedding* wajah yang tersimpan dalam basis data Qdrant.

Pada skenario ini, *embedding* wajah hasil ekstraksi dibandingkan terhadap seluruh *embedding* dalam basis data menggunakan pencarian *nearest neighbor*. Identitas dengan nilai kesamaan tertinggi dipilih sebagai hasil identifikasi, dengan mempertimbangkan ambang batas tertentu untuk menghindari kesalahan identifikasi.

3) Metrik Evaluasi

Untuk mengevaluasi kinerja sistem secara komprehensif, digunakan beberapa metrik evaluasi sebagai berikut:

1. *Equal Error Rate* (EER): merupakan titik di mana *False Acceptance Rate* (FAR) sama dengan *False Rejection Rate* (FRR). Nilai EER yang lebih rendah menunjukkan tingkat akurasi sistem yang lebih baik.
2. *False Acceptance Rate* (FAR): mengukur proporsi kesalahan sistem dalam menerima pasangan wajah yang sebenarnya berasal dari individu yang berbeda.
3. *False Rejection Rate* (FRR): Mengukur proporsi kesalahan sistem dalam menolak pasangan wajah yang sebenarnya berasal dari individu yang sama.

Metrik-metrik ini digunakan untuk menilai akurasi, stabilitas, dan keandalan sistem pengenalan wajah, baik pada skenario verifikasi maupun identifikasi.

F. Skenario Pengujian

Skenario pengujian dalam penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi kinerja sistem presensi berbasis pengenalan wajah secara menyeluruh, baik dari aspek akurasi pengenalan maupun performa sistem pada skala besar. Subbab ini menjelaskan implementasi eksperimental dari protokol evaluasi yang telah didefinisikan sebelumnya dalam lingkungan sistem presensi nyata.

1) Uji Akurasi Verifikasi

Uji akurasi verifikasi dilakukan dengan menerapkan protokol *Face Verification* (1:1) untuk mengukur performa aktual model Buffalo_S pada data uji dalam konteks sistem presensi. Pada skenario ini, pasangan citra wajah uji disusun ke dalam kelompok genuine dan impostor, kemudian diproses melalui tahapan deteksi wajah, ekstraksi *embedding*, dan perhitungan jarak antar *embedding*. Nilai jarak yang dihasilkan selanjutnya digunakan untuk menghitung metrik evaluasi yang telah ditetapkan, seperti, FAR, dan FRR, guna menilai tingkat akurasi dan reliabilitas sistem dalam skenario verifikasi.

Hasil pengujian ini merepresentasikan kemampuan sistem dalam melakukan autentikasi pengguna secara konsisten, serta menjadi dasar evaluasi performa pengenalan wajah sebelum sistem diuji pada aspek latensi dan skalabilitas..

2) Uji Latensi dan Skalabilitas

Uji latensi dan skalabilitas bertujuan untuk mengukur waktu respons total sistem (*end-to-end response time*), yang mencakup tahapan deteksi wajah, ekstraksi fitur, serta pencarian *embedding* pada basis data vektor Qdrant, seiring dengan meningkatnya jumlah identitas yang tersimpan.

Untuk mensimulasikan kondisi sistem presensi pada skala besar, penelitian ini memanfaatkan dataset CelebA sebagai sumber data wajah tambahan. Seluruh citra wajah pada dataset tersebut diproses melalui tahapan deteksi, penyelarasan (*alignment*), dan ekstraksi fitur menggunakan model Buffalo_S, kemudian *embedding* yang dihasilkan disimpan ke dalam basis data vektor Qdrant.

Jumlah *embedding* dalam basis data ditingkatkan secara bertahap guna mengamati pengaruh pertumbuhan data terhadap waktu pencarian (*query latency*) dan waktu respons end-to-end sistem. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi performa sistem presensi secara berkelanjutan dalam kondisi yang mendekati skenario operasional nyata dengan jumlah pengguna yang besar

III. HASIL DAN DISKUSI

Hasil eksperimen dan pembahasan terhadap kinerja sistem presensi *walk-through* berbasis pengenalan wajah yang dikembangkan dalam penelitian ini dipaparkan pada bagian ini. Evaluasi difokuskan pada dua aspek utama, yaitu tingkat akurasi dan reliabilitas pengenalan wajah yang diukur melalui protokol verifikasi dan identifikasi, serta kinerja sistem dari sisi latensi dan skalabilitas pada pengoperasian berskala besar dengan dukungan basis data vektor Qdrant.

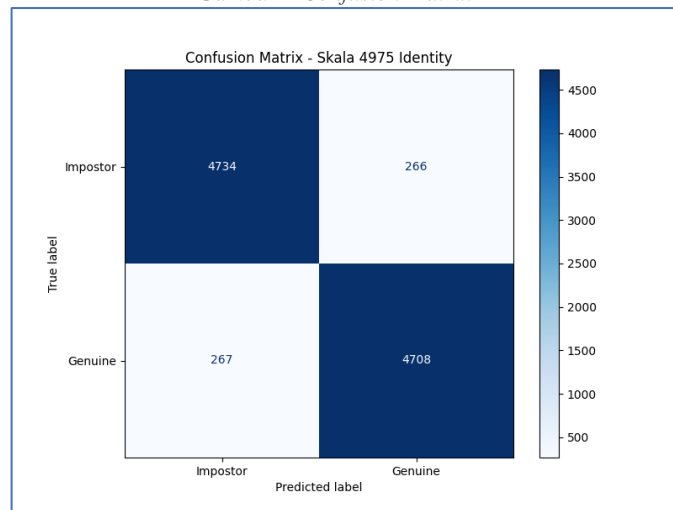
A. Hasil Uji Verifikasi Wajah (*Face Verification 1:1*)

Pengujian verifikasi wajah dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan model Buffalo_S dalam membedakan pasangan wajah yang berasal dari individu yang sama (*genuine*) dan individu yang berbeda (*impostor*). Seluruh pasangan citra uji diproses melalui tahapan deteksi wajah, *alignment* berbasis landmark, serta ekstraksi *embedding* berdimensi 512, sebelum nilai kemiripan dihitung menggunakan cosine similarity.

Berdasarkan hasil pengujian pada skala 4.975 identitas (total 9.975 pasangan uji), diperoleh *confusion matrix* (Gambar 1) yang menunjukkan performa klasifikasi sistem secara kuantitatif. Dari kelompok impostor, sistem berhasil menolak 4.734 pasangan secara tepat, dengan tingkat *false acceptance* sebesar 266 pasangan. Sementara itu, pada kelompok genuine, sistem mampu mengenali 4.708 pasangan secara benar, dengan tingkat *false rejection* hanya sebesar 267 pasangan. Hasil ini menunjukkan tingkat akurasi sistem yang konsisten sebesar 94,66% pada lingkungan basis data skala besar.

Distribusi hasil tersebut menunjukkan bahwa tingkat kesalahan antara *false acceptance* dan *false rejection* relatif seimbang, yang menandakan bahwa sistem tidak bias terhadap salah satu jenis kesalahan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa *embedding* yang dihasilkan oleh model Buffalo_S memiliki daya diskriminasi yang baik dalam membedakan identitas yang sah dan tidak sah, bahkan ketika diuji pada jumlah identitas yang besar.

Gambar 1 Confusion Matrix



B. Hasil Uji Identifikasi Wajah (Face Identification 1:N)

Pengujian identifikasi wajah dilakukan menggunakan protokol *Face Identification* (1:N), di mana *embedding* wajah hasil ekstraksi model Buffalo_S dibandingkan terhadap seluruh *embedding* identitas yang tersimpan dalam basis data vektor Qdrant. Proses identifikasi dilakukan dengan memilih identitas dengan nilai kemiripan tertinggi yang memenuhi ambang batas (threshold) yang telah ditetapkan.

Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi kemampuan sistem dalam menjalankan fungsi identifikasi dari banyak identitas (*one-to-many matching*) secara fungsional dan konsisten. Selama proses evaluasi, sistem berhasil memproses ribuan *embedding* wajah yang tersimpan dalam basis data dan menghasilkan keputusan identitas yang valid terhadap data uji yang masuk. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme pencarian *nearest neighbor* yang diterapkan mampu mengembalikan kandidat identitas yang relevan berdasarkan kemiripan *embedding* wajah.

Untuk menguji kemampuan identifikasi pada skala besar, basis data vektor Qdrant yang digunakan dalam penelitian ini menyimpan sebanyak 312.502 *embedding* wajah yang merepresentasikan identitas berbeda. Jumlah data ini memungkinkan evaluasi proses identifikasi 1:N dilakukan dalam kondisi yang mendekati skenario operasional nyata, di mana sistem harus melakukan pencocokan terhadap ratusan ribu identitas yang tersimpan. Keberhasilan sistem dalam menjalankan proses identifikasi pada skala ini menunjukkan bahwa pendekatan pencarian *nearest neighbor* yang diterapkan mampu mendukung kebutuhan identifikasi wajah berskala besar.

Integrasi basis data vektor Qdrant dengan indeks *Hierarchical Navigable Small World* (HNSW) memungkinkan sistem melakukan proses pencarian identitas secara efisien tanpa memerlukan perbandingan linear terhadap seluruh data. Pendekatan *approximate nearest neighbor* (ANN) yang digunakan terbukti mampu mendukung kebutuhan identifikasi wajah pada skala besar, yang menjadi karakteristik utama sistem presensi *walk-through*.

Hasil pengujian ini menegaskan bahwa sistem telah mampu menjalankan proses identifikasi wajah 1:N secara fungsional dengan memanfaatkan pencarian *nearest neighbor* pada basis data vektor Qdrant. Keberhasilan proses identifikasi tersebut menjadi prasyarat utama bagi implementasi sistem presensi *walk through*, yang selanjutnya perlu dievaluasi dari sisi performa waktu pemrosesan untuk memastikan kelayakannya dalam kondisi operasional nyata.

C. Hasil Uji Latensi Sistem End-to-End

Setelah kemampuan sistem dalam melakukan identifikasi wajah 1:N terverifikasi, pengujian selanjutnya difokuskan pada evaluasi latensi sistem secara *end-to-end*, yaitu waktu respons total sejak wajah terdeteksi hingga identitas berhasil dikenali dan dicatat dalam sistem presensi. Uji latensi sistem dilakukan untuk mengukur waktu respons total sejak wajah terdeteksi pada frame video hingga identitas berhasil dikenali dan dicatat dalam sistem presensi. Pengujian ini dilakukan secara *real-time* menggunakan perangkat keras GPU dengan dukungan CUDAExecutionProvider, sehingga merepresentasikan kondisi operasional nyata sistem presensi *walk-through*.

Berdasarkan hasil evaluasi *real-time*, rata-rata waktu inferensi model pengenalan wajah (yang mencakup deteksi, alignment, dan ekstraksi *embedding* menggunakan Buffalo_S) tercatat sebesar 24,82 ms, dengan latensi maksimum mencapai 498,53 ms pada kondisi tertentu. Proses pencarian *embedding* pada basis data vektor Qdrant menunjukkan rata-rata waktu respons sebesar 3,86 ms, dengan latensi maksimum sebesar 295,64 ms.

Secara keseluruhan, rata-rata waktu *respons end-to-end* sistem tercatat sebesar 28,70 ms, yang mencakup seluruh tahapan pemrosesan dari input video hingga pengambilan keputusan identitas. Latensi maksimum *end-to-end* yang teramati adalah 794,17 ms, yang umumnya terjadi pada kondisi beban komputasi tinggi atau variasi kualitas input citra wajah. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat variasi latensi maksimum, performa rata-rata sistem tetap berada dalam batas toleransi aplikasi presensi *walk through*. Dengan latensi rata-rata di bawah 30 ms, sistem mampu memproses wajah pengguna secara kontinu tanpa memerlukan penghentian pergerakan pengguna, sehingga tujuan utama pengurangan antrean dapat tercapai. Dengan performa ini, pengguna dapat berjalan melewati area presensi tanpa perlu berhenti atau berinteraksi langsung dengan perangkat, sehingga antrean dapat diminimalkan.

D. Analisis Kinerja Real-Time dan Stabilitas Operasional

Selain pengujian latensi, sistem juga dievaluasi dari sisi stabilitas operasional selama proses presensi berjalan secara kontinu. Pada pengujian ini, sistem memproses total 2.636 sampel wajah secara *real-time* melalui aliran video kamera, dengan jumlah pengguna yang berhasil terabsen sebanyak 2 individu terdaftar. Nilai *similarity score* rata-rata yang diperoleh selama pengujian adalah 0,6344, dengan nilai maksimum mencapai 0,8491. Rentang nilai ini menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan konsistensi pengukuran kemiripan *embedding* wajah dalam kondisi operasional dinamis, meskipun terdapat variasi pose, pencahayaan, dan pergerakan subjek.

Temuan ini mengindikasikan bahwa sistem tidak hanya unggul dalam pengujian berbasis dataset statis, tetapi juga menunjukkan kestabilan performa pada skenario real-time. Integrasi *pipeline* InsightFace dengan basis data vektor Qdrant mampu mendukung proses presensi berkelanjutan tanpa terjadinya *bottleneck* signifikan pada komponen inferensi maupun pencarian vektor

E. Pembahasan Skalabilitas Sistem Presensi Walk Through

Hasil uji skalabilitas memperlihatkan bahwa sistem pengenalan wajah yang dikembangkan mampu beroperasi secara stabil pada skala besar. Penambahan *embedding* dari dataset CelebA ke dalam basis data Qdrant tidak menyebabkan degradasi performa yang signifikan, baik dari sisi akurasi pengenalan maupun latensi pencarian.

Temuan ini menegaskan bahwa kombinasi model Buffalo_S yang ringan dengan basis data vektor Qdrant merupakan solusi yang efektif untuk sistem presensi berskala besar. Dibandingkan dengan pendekatan pencarian linear, penggunaan ANN berbasis HNSW memberikan keuntungan signifikan dalam efisiensi komputasi, terutama ketika jumlah identitas terus bertambah. Selain itu, arsitektur sistem yang dirancang secara asinkron turut berkontribusi terhadap kelancaran operasional. Pemisahan proses *capture*, *inference*, dan *query* memungkinkan sistem untuk menangani aliran data video secara kontinu tanpa *bottleneck* yang berarti.

Evaluasi menggunakan metrik FAR, dan FRR memberikan gambaran yang lebih representatif dibandingkan sekadar akurasi, terutama pada skenario skala besar. Implikasi praktis dari penelitian ini adalah bahwa institusi pendidikan dapat mengadopsi sistem presensi berbasis pengenalan wajah tanpa khawatir terhadap penurunan performa ketika jumlah pengguna meningkat. Dengan konfigurasi *threshold* yang tepat dan dukungan basis data vektor yang efisien, sistem mampu menyeimbangkan aspek keamanan, kenyamanan, dan kecepatan.

Namun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, terutama pada variasi kondisi lingkungan seperti pencahayaan ekstrem, *occlusion* wajah, dan sudut pandang kamera yang tidak ideal. Oleh karena itu, penelitian lanjutan dapat difokuskan pada evaluasi *robustness* sistem terhadap kondisi lingkungan yang lebih beragam serta eksplorasi model *embedding* yang lebih adaptif untuk skenario dinamis.

Secara keseluruhan, hasil dan pembahasan pada bab ini menegaskan bahwa integrasi InsightFace Buffalo_S dengan Qdrant merupakan pendekatan yang layak dan skalabel untuk mendukung sistem presensi *walk-through* berbasis pengenalan wajah di lingkungan operasional nyata.

F. Tabel Ringkasan Evaluasi Sistem

Tabel 1 merangkum hasil evaluasi utama dari sistem presensi *walk through* berbasis pengenalan wajah yang diusulkan. Ringkasan ini mencakup performa verifikasi wajah (1:1), karakteristik operasional proses identifikasi wajah (1:N), serta kinerja sistem ditinjau dari aspek latensi dan stabilitas *real-time*.

Table 1 Ringkasan Hasil Evaluasi Sistem Presensi Walk Through

Aspek Evaluasi	Metrik	Nilai	Keterangan
Verifikasi Wajah (1:1)	False Acceptance Rate (FAR)	5,32%	Proporsi impostor yang salah diterima
Verifikasi Wajah (1:1)	False Rejection Rate (FRR)	5,37%	Proporsi genuine yang salah ditolak
Identifikasi Wajah (1:N)	Skala Basis Data	312.502 (<i>embedding</i>)	Jumlah identitas dalam basis data vektor Qdrant
Performa <i>Real-Time</i>	Rata-rata Latensi Inference	24,82 ms	Deteksi, alignment, dan ekstraksi <i>embedding</i>
Performa <i>Real-Time</i>	Rata-rata Latensi Qdrant	3,86 ms	Pencarian nearest neighbor berbasis HNSW
Performa Sistem	Rata-rata Latensi End-to-End	28,70 ms	Total waktu respons sistem presensi
Stabilitas Operasional	<i>Similarity Score</i> (Rata-rata)	0,6344	Konsistensi <i>embedding</i> pada pengujian <i>real-time</i>
Stabilitas Operasional	Jumlah Sampel Wajah	2.636	Sampel diproses selama pengujian kamera langsung

Tabel 1 menunjukkan bahwa sistem memiliki performa verifikasi wajah yang reliabel, mampu menjalankan proses identifikasi wajah 1:N pada skala besar, serta mempertahankan kinerja *real-time* yang stabil dan responsif pada skenario operasional presensi *walk-through*

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan mengimplementasikan sistem presensi *walk-through* yang mengintegrasikan model pengenalan wajah Buffalo_S dengan manajemen basis data vektor Qdrant. Berdasarkan hasil pengujian eksperimental, sistem mampu mempertahankan tingkat akurasi klasifikasi yang tinggi, yaitu sebesar 94,66%, pada skenario skala besar yang melibatkan 4.975 identitas. Tingkat keandalan sistem semakin diperkuat oleh capaian *False Acceptance Rate* (FAR) sebesar 5,32% dan *False Rejection Rate* (FRR) sebesar 5,37% yang berada pada titik keseimbangan rendah. Temuan ini menunjukkan bahwa representasi fitur wajah yang dihasilkan oleh model Buffalo_S memiliki kemampuan diskriminatif yang sangat baik dalam proses verifikasi identitas, bahkan ketika diterapkan pada populasi data yang besar dan heterogen.

Dari aspek efisiensi operasional, penerapan algoritma *Hierarchical Navigable Small World* (HNSW) pada Qdrant terbukti memberikan peningkatan signifikan terhadap kecepatan pencarian vektor. Sistem mampu mencapai rata-rata waktu pencarian sebesar 3,86 ms pada basis data yang memuat hingga 312.502 *embedding* wajah. Secara keseluruhan, latensi pemrosesan end-to-end sistem tercatat sebesar 28,70 ms, sehingga memungkinkan pemrosesan aliran video secara *real-time* dengan kecepatan lebih dari 30 frame per second (FPS). Kinerja ini mendukung terciptanya pengalaman presensi yang mulus, di mana pengguna dapat melewati area deteksi tanpa perlu berhenti atau melakukan interaksi fisik dengan perangkat, sehingga tujuan utama penelitian dalam meminimalkan antrean dan meningkatkan efisiensi presensi dapat tercapai secara optimal.

Implikasi dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi arsitektur pemrosesan asinkron dengan basis data vektor Qdrant merupakan solusi yang efektif, skalabel, dan andal untuk implementasi sistem presensi *walk-through*. Dengan demikian, sistem yang diusulkan memiliki potensi besar untuk diterapkan pada skenario berskala besar, seperti institusi pendidikan, perkantoran, maupun fasilitas publik, sebagai alternatif presensi non-intrusif yang aman, efisien, dan berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala SMK Bismillah, Bapak H. M. Alvi Ruzabady, S.HI., M.Pd., yang telah memberikan arahan dan masukan terkait permasalahan digitalisasi sistem presensi di Pondok Pesantren Bismillah Serang, pada kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) Program Magister Teknologi Informasi Universitas Pamulang tahun 2025. Masukan dan pengalaman praktis tersebut menjadi salah satu sumber inspirasi utama dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Dr. Tukiyyat, M.Si. dan Dr. Ir. Agung Budi Susanto, M.M., yang telah memberikan bimbingan dan pendampingan selama kegiatan PKM dan selalu memberikan dorongan untuk senantiasa menghasilkan kontribusi nyata bagi masyarakat melalui penerapan ilmu pengetahuan yang diperoleh di Program Pascasarjana (S2) Universitas Pamulang, yang sangat berarti bagi penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. G. O. -, E. J. I. -, J. O. O. -, and P. R. B. -, "AI based Face Recognition Attendance System," *International Journal of Innovative Research in Engineering & Multidisciplinary Physical Sciences*, vol. 12, no. 2, Apr. 2024, doi: 10.37082/IJIRMP.S.v12.i2.230598.
- [2] M. Habila, F. N. Francisca, L. Ishaya, M. K. Ahmed, U. A. Muhammad, and H. P. Charles, "Smart Real-time Attendance System for Nigerian Universities," *Journal of Information and Organizational Sciences*, vol. 49, no. 1, pp. 121–138, Jun. 2025, doi: 10.31341/jios.49.1.8.
- [3] V. O. Osazuwa-Ojo and V. O. Elaigwu, "A TWO-STEP AUTHENTICATION FACIAL RECOGNITION SYSTEM FOR AUTOMATED ATTENDANCE TRACKING," *FUDMA JOURNAL OF SCIENCES*, vol. 8, no. 6, pp. 7–16, Dec. 2024, doi: 10.33003/fjs-2024-0806-2773.
- [4] O. Oshin, J. Amenaghawon, F. Moninuola, and O. Idowu-Bismark, "Class Attendance System Using Facial Recognition," *Ingenierie des Systemes d'Information*, vol. 30, no. 6, pp. 1589–1595, Jun. 2025, doi: 10.18280/isi.300617.
- [5] H.-D. Thai, Y. Liu, N.-B.-V. Le, D. Lee, and J.-H. Huh, "Improved Attendance Tracking System for Coffee Farm Workers Applying Computer Vision," *Applied Sciences*, vol. 16, no. 1, p. 319, Dec. 2025, doi: 10.3390/app16010319.
- [6] M. Katsumata, "Learner Face Detection and Analysis in Smart Learning Environments," in *2025 14th International Conference on Software and Computer Applications, ICSCA 2025*, Association for Computing Machinery, Inc, Sep. 2025, pp. 238–241. doi: 10.1145/3731806.3731830.
- [7] O. Jannu, V. Sekar, T. Padhy, and P. Padalkar, "Comparative Analysis of Deepfake Detection Models," in *2024 IEEE 9th International Conference for Convergence in Technology, I2CT 2024*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2024. doi: 10.1109/I2CT61223.2024.10543823.
- [8] S. Jamo, "Impact of Image Resolution on Age Estimation with DeepFace and InsightFace," Nov. 2025, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2511.14689>
- [9] R. H. dan I. N. F. M. F. Setiawan, "Pemanfaatan Pustaka InsightFace Dalam Sistem Presensi Berbasis Pengenalan Wajah," 2025.