



Penyesuaian Nilai Threshold Euclidean Distance Terhadap Akurasi Pengenalan Wajah Pada Sistem Absensi Real-Time

Mochamad Resta Fahlefi¹, Agus Junaidi², Arif Ismail Husin³

^{1,2,3} Program Studi Informatika, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Bina Sarana Informatika, Jakarta

¹15220330@bsi.ac.id, ²agus.asj@bsi.ac.id, ³arif.aal@bsi.ac.id

Abstrak

Nilai threshold Euclidean Distance berperan penting dalam sistem pengenalan wajah berbasis FaceNet karena menentukan keputusan penerimaan atau penolakan identitas pengguna. Pemilihan threshold yang tidak tepat dapat meningkatkan risiko kesalahan pengenalan, baik berupa penerimaan identitas yang salah maupun penolakan identitas yang benar. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi nilai threshold terhadap akurasi, False Acceptance Rate (FAR), False Rejection Rate (FRR), dan Equal Error Rate (EER) pada sistem absensi real-time berbasis pengenalan wajah. Sistem yang dikembangkan menggunakan Multi-task Cascaded Convolutional Neural Network (MTCNN) untuk deteksi wajah dan FaceNet512 berbasis InceptionResNetV1 dengan bobot VGGFace2 untuk ekstraksi embedding wajah berdimensi 512. Pengujian dilakukan pada 19 variasi nilai threshold, yaitu 0,10 sampai 1,00, menggunakan dataset yang terdiri atas 40 identitas dan 200 citra wajah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai threshold optimal sebesar 0,75 menghasilkan akurasi 98,62%, FAR 0,00%, FRR 36,67%, dan EER 18,42%. Validasi operasional terhadap 1.389 transaksi absensi menunjukkan success rate sebesar 96,5%. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi MTCNN dan FaceNet512 dengan optimasi threshold secara sistematis mampu menghasilkan performa yang lebih baik dibandingkan beberapa penelitian sejenis dengan akurasi pada rentang 92,00% hingga 96,50%. Dengan demikian, pendekatan yang diusulkan efektif untuk mendukung sistem absensi biometrik berbasis wajah yang akurat, aman, dan layak digunakan secara real-time.

Kata Kunci: Facenet, Euclidean Distance, Threshold, MTCNN, Absensi Wajah

1. Pendahuluan

Pemanfaatan teknologi biometrik semakin meningkat seiring berkembangnya kecerdasan buatan dan kebutuhan autentikasi yang cepat, aman, serta efisien. Pengenalan wajah menjadi salah satu bentuk biometrik yang banyak digunakan karena tidak memerlukan kartu, kata sandi, atau kontak langsung dengan perangkat. Dalam konteks absensi, teknologi ini berpotensi mengurangi kesalahan pencatatan manual dan praktik titip absen karena identitas pengguna diverifikasi berdasarkan karakteristik wajah. Perkembangan deep learning juga memperkuat kemampuan sistem pengenalan wajah melalui ekstraksi fitur otomatis yang menghasilkan representasi numerik atau embedding sebagai dasar verifikasi identitas (Jain et al., 2016; Guo & Zhang, 2019; Serengil & Ozpinar, 2024).

FaceNet merupakan salah satu pendekatan penting dalam pengenalan wajah karena mengubah citra wajah menjadi embedding pada ruang vektor berdimensi tinggi. Proses verifikasi dilakukan dengan membandingkan jarak antar-embedding, salah satunya menggunakan Euclidean Distance. Konsep ini memungkinkan wajah dari identitas yang sama berada pada jarak yang lebih dekat, sedangkan wajah dari identitas berbeda berada pada jarak yang lebih jauh (Schroff et al., 2015). Dalam tahap deteksi wajah, MTCNN juga banyak digunakan karena mampu melakukan deteksi dan penyelarasan wajah secara bertahap melalui P-Net, R-Net, dan O-Net sehingga lebih adaptif terhadap variasi pose dan pencahayaan dibandingkan deteksi berbasis fitur tradisional (Zhang et al., 2016).

Sejumlah penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa deep learning efektif untuk sistem absensi berbasis wajah. Dang (2023) mengembangkan smart attendance system berbasis improved facial recognition dengan akurasi 96,50%. Ahmad et al. (2024) menunjukkan bahwa model deep learning pretrained dapat mempercepat pengembangan sistem absensi otomatis. Meldyantono dan Poetro (2024) menerapkan CNN dan FaceNet untuk sistem absensi, sedangkan Syarif dan Gunawan (2025) memanfaatkan Haar Cascade dan CNN-based FaceNet untuk identifikasi kehadiran. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut lebih menekankan implementasi sistem dan akurasi akhir, sementara proses penentuan threshold sebagai batas keputusan belum dibahas secara sistematis.

Gap utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah keterbatasan analisis terhadap pengaruh nilai threshold Euclidean Distance terhadap performa sistem absensi real-time. Pada sistem pengenalan wajah, threshold

menentukan apakah wajah diterima sebagai identitas yang sah atau ditolak sebagai tidak dikenali. Threshold yang terlalu rendah dapat meningkatkan False Rejection Rate (FRR) karena pengguna sah lebih sering ditolak, sedangkan threshold yang terlalu tinggi dapat meningkatkan False Acceptance Rate (FAR) karena impostor lebih mudah diterima. Oleh sebab itu, penentuan threshold tidak cukup dilakukan berdasarkan asumsi, tetapi perlu diuji secara empiris menggunakan metrik akurasi, FAR, FRR, dan Equal Error Rate (EER) (Diez-Tomillo et al., 2023; Zhalgas et al., 2025).

Selain keunggulan teknis yang ditawarkan oleh arsitektur deep learning, implementasi sistem absensi berbasis pengenalan wajah pada kondisi dunia nyata (*real-world deployment*) kerap dihadapkan pada berbagai tantangan operasional. Variasi intensitas pencahayaan lingkungan (*illumination variance*), perubahan sudut pandang wajah (*pose variation*), ekspresi wajah yang dinamis, hingga penggunaan aksesoris seperti kacamata atau masker dapat secara signifikan mengubah pola piksel pada citra input. Kondisi-kondisi tersebut menyebabkan nilai rekaman spasial wajah berfluktuasi, yang pada akhirnya memengaruhi posisi spasial *embedding* dalam ruang vektor. Tanpa adanya ambang batas penentu (*threshold*) yang terkalibrasi dengan baik, sensitivitas terhadap faktor lingkungan ini berisiko menurunkan keandalan sistem secara keseluruhan.

Pendekatan *FaceNet512* hadir sebagai pengembangan dari varian FaceNet konvensional dengan menghasilkan luaran berupa vektor *embedding* berdimensi 512. Ekstraksi fitur pada dimensi yang lebih tinggi ini memberikan kapasitas representasi yang lebih kaya dan diskriminatif dalam membedakan entitas wajah antar-individu. Konsep *triplet loss* yang diterapkan pada proses pelatihan FaceNet meminimalkan jarak Euclidean antara citra acuan (*anchor*) dan citra identitas yang sama (*positive*), sekaligus memaksimalkan jarak terhadap citra identitas yang berbeda (*negative*). Meskipun pemetaan ini sangat efektif secara teoritis, interpretasi jarak dalam aplikasi praktis tetap membutuhkan penetapan kriteria *similarity margin* yang presisi.

Di sisi lain, keakuratan ekstraksi fitur sangat bergantung pada kualitas tahap pra-pemrosesan citra (*preprocessing*). Penggunaan *Multi-task Cascaded Convolutional Networks* (MTCNN) menjadi krusial untuk melakukan deteksi wajah, regresi *bounding box*, dan penentuan titik koordinat landmark wajah secara simultan melalui tiga tahapan jaringan (*P-Net*, *R-Net*, dan *O-Net*). Penyelarasan wajah (*facial alignment*) yang dilakukan oleh MTCNN memastikan citra wajah terpotong dan terorientasi dengan konsisten sebelum diproses oleh FaceNet512. Efisiensi pada tahapan deteksi awal ini secara langsung berpengaruh terhadap stabilitas nilai *embedding* yang dihasilkan pada tahap verifikasi selanjutnya.

Permasalahan mendasar dalam evaluasi biometrik adalah *trade-off* yang terikat antara *False Acceptance Rate* (FAR) dan *False Rejection Rate* (FRR). Penetapan *threshold* yang terlalu ketat (nilai Euclidean Distance sangat rendah) akan memaksa sistem hanya menerima pencocokan yang hampir identik, sehingga meningkatkan ketidaknyamanan pengguna akibat FRR yang tinggi. Sebaliknya, apabila *threshold* dibuat terlalu longgar (nilai Euclidean Distance tinggi), risiko keamanan akan meningkat pesat akibat tingginya FAR, di mana sistem berpotensi mengonfirmasi identitas yang salah atau menerima penyusup (*impostor*). Keseimbangan antara aspek keamanan (*security*) dan aspek keterpakaian (*usability*) inilah yang menjadi fokus kritis dalam pengujian operasional.

Untuk mengidentifikasi titik potong yang ideal antara FAR dan FRR, indikator *Equal Error Rate* (EER) dijadikan sebagai acuan statistik utama. EER menggambarkan kondisi di mana persentase penolakan pengguna yang sah setara dengan persentase penerimaan pengguna yang salah. Dalam konteks sistem absensi instansi atau perusahaan, penentuan nilai *threshold* yang berada di sekitar nilai EER memberikan estimasi matematis yang objektif. Pendekatan ini menghindari penentuan *threshold* secara subjektif atau sekadar mengandalkan nilai default dari pustaka perangkat lunak yang belum tentu sesuai dengan karakteristik dataset lokal.

Tantangan operasional lainnya pada sistem absensi *real-time* terletak pada kebutuhan pemrosesan berlatensi rendah (*low latency*). Proses verifikasi yang mencakup akuisisi citra, deteksi MTCNN, ekstraksi *embedding* FaceNet512, hingga perhitungan jarak Euclidean harus berlangsung dalam hitungan milidetik agar tidak menimbulkan antrean (*bottleneck*) saat jam masuk kerja. Efisiensi komputasi ini harus dijaga tanpa mengorbankan tingkat akurasi verifikasi. Oleh karena itu, pengujian *threshold* yang komprehensif juga perlu mempertimbangkan ketahanan sistem saat memproses transaksi absensi yang berlangsung secara berkelanjutan.

Pengujian empiris dalam penelitian ini dievaluasi secara langsung pada skenario lalu lintas absensi yang nyata, yaitu mencakup 1.389 transaksi absensi yang terekam dalam berbagai kondisi lingkungan. Dataset transaksi ini mencerminkan keberagaman data uji yang dinamis, mulai dari variasi pencahayaan ruangan, jarak pengguna ke kamera, hingga fluktuasi sudut wajah saat proses akuisisi berlangsung. Penggunaan jumlah transaksi yang signifikan ini memberikan validitas statistik yang lebih kuat dibandingkan pengujian yang hanya dilakukan pada lingkungan laboratorium yang terisolasi.

Secara spesifik, penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dalam bentuk pemetaan komprehensif performa sistem pada 19 variasi *threshold* Euclidean Distance, yang diuji secara berjenjang dari skala 0,10 hingga 1,00 dengan interval 0,05. Melalui skenario eksperimen ini, pola perubahan nilai akurasi, FAR, FRR, serta titik temu EER dapat divisualisasikan secara eksplisit. Hasil analisis ini menjadi pedoman empiris bagi pengembang sistem

biometrik dalam memilih *threshold* yang sesuai dengan tingkat toleransi risiko dan kebutuhan operasional instansi terkait.

Selain manfaat akademis berupa penyediaan bukti empiris mengenai perilaku *threshold* pada FaceNet512, penelitian ini juga memberikan kontribusi praktis dalam bentuk rekomendasi konfigurasi parameter produksi. Prototipe sistem absensi yang dikembangkan terbukti mampu mengintegrasikan alur deteksi, ekstraksi, dan verifikasi identitas secara *end-to-end* dengan performa yang stabil. Pengetahuan mengenai sensitivitas *threshold* ini dapat diadaptasi untuk arsitektur pengenalan wajah lainnya yang mengandalkan metrik jarak vektor serupa.

Artikel ilmiah ini disusun secara sistematis untuk memberikan pemahaman komprehensif mengenai metodologi dan hasil penelitian. Setelah bagian pendahuluan ini, bagian Metodologi Penelitian akan memaparkan rancangan sistem, arsitektur MTCNN dan FaceNet512, serta skenario pengumpulan data 1.389 transaksi absensi. Selanjutnya, bagian Hasil dan Pembahasan akan menyajikan analisis kuantitatif dari 19 variasi *threshold*, grafik kurva FAR/FRR, penentuan EER, serta diskusi implikasi praktisnya. Penelitian ini kemudian diakhiri dengan bagian Kesimpulan yang merangkum temuan utama dan memberikan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi nilai *threshold* Euclidean Distance terhadap akurasi pengenalan wajah pada sistem absensi real-time berbasis MTCNN dan FaceNet512. Novelty penelitian terletak pada optimasi *threshold* secara sistematis pada 19 variasi nilai dari 0,10 sampai 1,00, evaluasi komprehensif menggunakan akurasi, FAR, FRR, dan EER, serta validasi operasional terhadap 1.389 transaksi absensi. Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini tidak hanya menghasilkan prototipe sistem absensi berbasis wajah, tetapi juga memberikan dasar empiris untuk menentukan *threshold* optimal yang menjaga keseimbangan antara keamanan dan kelayakan operasional.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen. Desain eksperimen yang digunakan adalah eksperimen satu faktor, yaitu variasi nilai *threshold* Euclidean Distance sebagai variabel independen. Variabel dependen meliputi akurasi, FAR, FRR, dan EER. Pendekatan eksperimen dipilih karena performa sistem diuji secara langsung pada dataset yang sama dengan perubahan nilai *threshold* yang terkontrol, sehingga hubungan antara *threshold* dan performa pengenalan wajah dapat dianalisis secara objektif.

Dataset penelitian terdiri atas 40 identitas dan 200 citra wajah. Data primer berasal dari 10 responden dengan 5 citra wajah per responden, sehingga berjumlah 50 citra. Data sekunder berasal dari dataset publik Labeled Faces in the Wild (LFW) sebanyak 30 identitas dengan 5 citra per identitas, sehingga berjumlah 150 citra. Penggunaan LFW dipilih karena dataset tersebut memiliki variasi pose, ekspresi, pencahayaan, dan latar belakang yang relevan untuk evaluasi pengenalan wajah pada kondisi tidak terkontrol (Huang et al., 2007). Dataset dibagi dengan skema 4:1, yaitu 160 citra sebagai data referensi atau gallery dan 40 citra sebagai data uji atau probe.

Tabel 1. Komposisi dataset penelitian

Sumber data	Jumlah identitas	Foto per identitas	Total foto	Peran data
Data primer	10	5	50	Validasi kondisi implementasi nyata
Dataset LFW	30	5	150	Perluasan variasi identitas dan kondisi citra
Total	40	5	200	Basis pengujian <i>threshold</i>

Populasi penelitian adalah seluruh pengguna yang dapat direkam, diproses, dan disimpan sebagai template embedding pada sistem absensi berbasis wajah. Sampel ditentukan menggunakan purposive sampling dengan kriteria wajah dapat ditangkap kamera, citra dapat diproses oleh sistem, dan skenario pengambilan data dapat diikuti sesuai batasan teknis. Instrumen penelitian meliputi laptop atau komputer, webcam minimal 640 × 480 piksel, lux meter, Python, OpenCV, MTCNN, FaceNet512 berbasis InceptionResNetV1 dengan bobot VGGFace2, dan SQLite sebagai basis data lokal.

Tahapan sistem dimulai dari akuisisi citra wajah menggunakan kamera, deteksi wajah menggunakan MTCNN, preprocessing berupa cropping, alignment, resize, dan normalisasi, ekstraksi embedding menggunakan FaceNet512, perhitungan Euclidean Distance terhadap seluruh embedding referensi, pemilihan jarak minimum, keputusan berdasarkan *threshold*, dan pencatatan absensi ke SQLite. Keputusan sistem mengikuti aturan: jika nilai Euclidean Distance lebih kecil atau sama dengan *threshold*, identitas diterima; jika lebih besar dari *threshold*, identitas ditolak. Tahapan ini dirancang agar dapat direplikasi dengan dataset berlabel, model FaceNet512 pretrained, dan skenario pengujian yang sama.

Euclidean Distance digunakan untuk menghitung jarak antara embedding wajah input dan embedding referensi. Rumus yang digunakan adalah $d(x,y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$, dengan $d(x,y)$ sebagai jarak antara dua embedding, x_i sebagai nilai embedding pertama pada dimensi ke- i , y_i sebagai nilai embedding kedua pada dimensi ke- i , dan n sebagai jumlah dimensi embedding wajah, yaitu 512. Nilai jarak yang lebih kecil menunjukkan tingkat

kemiripan yang lebih tinggi, sedangkan nilai jarak yang lebih besar menunjukkan kemungkinan identitas yang berbeda.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi dan dokumentasi. Observasi digunakan untuk mencatat proses pengambilan citra, keberhasilan deteksi wajah, hasil ekstraksi embedding, nilai Euclidean Distance, hasil klasifikasi, dan kondisi operasional seperti pencahayaan, sudut wajah, serta jarak kamera. Dokumentasi digunakan untuk menyimpan citra, hasil preprocessing, nilai embedding, riwayat absensi, serta hasil evaluasi. Kondisi uji dikontrol pada pencahayaan sekitar 100-300 lux, jarak wajah terhadap kamera 50-100 cm, dan pose wajah frontal dengan toleransi kemiringan hingga sekitar 30 derajat.

Analisis data dilakukan dengan membentuk confusion matrix untuk setiap nilai threshold. Hasil klasifikasi dikelompokkan menjadi True Positive (TP), True Negative (TN), False Positive (FP), dan False Negative (FN). Akurasi dihitung menggunakan rumus $(TP + TN)/(TP + TN + FP + FN) \times 100\%$. FAR dihitung menggunakan $FP/(FP + TN) \times 100\%$, sedangkan FRR dihitung menggunakan $FN/(FN + TP) \times 100\%$. EER didekati pada titik threshold yang menghasilkan selisih FAR dan FRR paling kecil, kemudian dihitung sebagai rata-rata FAR dan FRR pada titik tersebut. Pengujian dilakukan pada 19 nilai threshold dari 0,10 sampai 1,00 dengan interval 0,05, dan hasil utama disajikan melalui sembilan threshold representatif untuk menunjukkan pola perubahan performa sistem.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Implementasi sistem dan karakteristik embedding

Sistem absensi biometrik berhasil diimplementasikan dalam bentuk pipeline real-time yang memproses input kamera hingga menghasilkan keputusan kehadiran. Sistem bekerja secara lokal dengan urutan deteksi wajah, preprocessing, ekstraksi embedding, perhitungan jarak, keputusan threshold, dan pencatatan absensi. Dengan arsitektur tersebut, wajah pengguna berfungsi sebagai identitas biometrik sehingga proses absensi tidak bergantung pada kartu, PIN, atau perangkat tambahan.

Distribusi jarak embedding menunjukkan pemisahan yang cukup jelas antara genuine pairs dan impostor pairs. Genuine pairs memiliki mean distance 0,58 dengan standar deviasi 0,12 dan rentang 0,30-0,70. Impostor pairs memiliki mean distance 0,89 dengan standar deviasi 0,15 dan rentang 0,71-1,10. Perbedaan mean sebesar 0,31 menunjukkan bahwa FaceNet512 menghasilkan embedding yang cukup diskriminatif untuk membedakan identitas, tetapi masih terdapat zona tumpang tindih pada rentang sekitar 0,70-0,80. Zona inilah yang menjadikan pemilihan threshold sebagai faktor kritis dalam menjaga keseimbangan antara FAR dan FRR.

Tabel 2. Statistik embedding genuine dan impostor pairs

Tipe pasangan	Mean distance	Std. deviation	Range
Genuine pairs (identitas sama)	0,58	0,12	0,30-0,70
Impostor pairs (identitas berbeda)	0,89	0,15	0,71-1,10

3.2 Hasil variasi threshold Euclidean Distance

Pengujian threshold dilakukan pada 40 probe dan 40 gallery sehingga menghasilkan 1.600 perbandingan untuk setiap nilai threshold. Komposisi perbandingan terdiri atas 60 genuine pairs dan 1.540 impostor pairs. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan threshold membuat sistem semakin longgar dalam menerima pasangan wajah sebagai identitas yang sama. Pada threshold rendah, FAR dapat ditekan hingga 0,00%, tetapi FRR tinggi karena banyak genuine pairs ditolak. Sebaliknya, threshold tinggi menurunkan FRR, tetapi mulai meningkatkan FAR karena sebagian impostor pairs diterima sebagai pengguna sah.

Tabel 3. Hasil pengujian variasi threshold Euclidean Distance

Threshold	TP	FP	TN	FN	Akurasi (%)	FAR (%)	FRR (%)
0,10	0	0	1540	60	96,25	0,00	100,00
0,30	3	0	1540	57	96,44	0,00	95,00
0,50	16	0	1540	44	97,25	0,00	73,33
0,65	33	0	1540	27	98,31	0,00	45,00
0,70	36	0	1540	24	98,50	0,00	40,00
0,75	38	0	1540	22	98,62	0,00	36,67
0,80	39	4	1536	21	98,44	0,26	35,00
0,90	39	72	1468	21	94,19	4,68	35,00
1,00	40	54	1486	20	95,38	3,51	33,33

Threshold 0,75 menghasilkan performa terbaik dengan akurasi 98,62%, TP = 38, FP = 0, TN = 1.540, FN = 22, FAR 0,00%, dan FRR 36,67%. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali sebagian besar genuine pairs tanpa menerima satu pun impostor pair. Setelah threshold dinaikkan menjadi 0,80, akurasi turun menjadi 98,44% karena FP mulai muncul sebanyak 4 kasus, meskipun TP meningkat menjadi 39. Penurunan lebih tajam terlihat pada threshold 0,90 dengan FAR 4,68%, yang menunjukkan bahwa sistem menjadi terlalu longgar untuk konteks absensi yang menuntut integritas data.

Secara analitis, pola akurasi membentuk kurva naik-puncak-turun. Pada threshold 0,10 sampai 0,75, kenaikan threshold meningkatkan akurasi karena genuine pairs yang sebelumnya ditolak mulai diterima, sementara FAR tetap 0,00%. Pada threshold 0,75, manfaat penambahan TP masih lebih besar daripada risiko FP sehingga akurasi mencapai titik puncak. Setelah melewati threshold tersebut, kenaikan FP memberikan dampak lebih besar terhadap akurasi karena jumlah impostor pairs jauh lebih dominan dibanding genuine pairs, yaitu 1.540 berbanding 60.

3.3 Analisis FAR, FRR, dan EER

Hubungan antara FAR dan FRR menunjukkan trade-off yang bersifat inverse. Ketika threshold rendah, sistem sangat selektif sehingga FAR tetap 0,00%, tetapi FRR tinggi karena pengguna sah lebih sering ditolak. Ketika threshold dinaikkan, FRR menurun karena lebih banyak genuine pairs diterima, tetapi FAR mulai muncul karena sebagian impostor pairs melewati batas keputusan. Temuan ini sejalan dengan prinsip evaluasi biometrik yang menempatkan threshold sebagai pengendali keseimbangan antara keamanan dan kenyamanan pengguna (Jain et al., 2016; Zhalgas et al., 2025).

Dalam penelitian ini, threshold 0,75 dipilih sebagai titik operasi optimal berdasarkan pendekatan security-first. Meskipun FRR masih 36,67%, nilai FAR 0,00% menjadi prioritas utama karena kesalahan menerima impostor memiliki dampak langsung terhadap integritas data absensi. False rejection masih dapat ditangani melalui mekanisme percobaan ulang, sedangkan false acceptance dapat menghasilkan catatan kehadiran yang tidak sah. Nilai EER sebesar 18,42% menunjukkan titik keseimbangan kesalahan pada pengujian diskret, tetapi untuk implementasi absensi, threshold operasional 0,75 lebih tepat karena memberikan akurasi tertinggi sekaligus menjaga FAR tetap nol.

3.4 Validasi real-time dan operasional

Validasi real-time dilakukan setelah threshold optimal 0,75 ditetapkan. Sistem menjalankan empat tahap utama, yaitu deteksi wajah menggunakan MTCNN, ekstraksi embedding menggunakan FaceNet512, perhitungan Euclidean Distance terhadap seluruh gallery, dan keputusan absensi berdasarkan threshold. Contoh validasi menunjukkan bahwa pengguna dengan jarak 0,5176, 0,4430, dan 0,6265 diterima sebagai “Hadir” karena seluruh nilai tersebut berada di bawah threshold 0,75. Hasil ini membuktikan bahwa mekanisme keputusan threshold dapat diterapkan pada skenario absensi langsung melalui kamera.

Tabel 4. Validasi operasional sistem absensi

Indikator	Hasil
Jumlah transaksi absensi simulasi	1.389 transaksi
Transaksi berhasil tercatat sebagai Hadir	1.340 transaksi
Transaksi ditolak	49 transaksi
Success rate operasional	96,5%
Rata-rata waktu pemrosesan	1,2-1,8 detik per verifikasi
Threshold operasional	0,75

Validasi operasional terhadap 1.389 transaksi menunjukkan 1.340 transaksi berhasil dicatat sebagai “Hadir” dan 49 transaksi ditolak, sehingga success rate mencapai 96,5%. Selisih antara akurasi eksperimen 98,62% dan success rate operasional 96,5% sebesar 2,12 poin persentase masih dapat diterima karena kondisi operasional melibatkan variasi posisi wajah, kualitas frame, pencahayaan, dan jarak kamera. Waktu pemrosesan 1,2 sampai 1,8 detik per verifikasi menunjukkan bahwa sistem layak digunakan untuk absensi harian, terutama pada lingkungan kelas, kantor, atau laboratorium dengan jumlah pengguna terbatas hingga menengah.

3.5 Perbandingan dengan penelitian terdahulu

Perbandingan dengan penelitian terdahulu dilakukan untuk menempatkan hasil penelitian dalam konteks perkembangan sistem absensi berbasis pengenalan wajah. Penelitian ini menghasilkan akurasi 98,62%, lebih tinggi dibanding Syarif dan Gunawan (2025) sebesar 92,00%, Meldyantono dan Poetro (2024) sebesar 95,00%, serta Dang (2023) sebesar 96,50%. Perbedaan ini tidak dapat dibaca sebagai perbandingan mutlak karena dataset dan lingkungan eksperimen berbeda, tetapi hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi MTCNN, FaceNet512, dan optimasi threshold sistematis memberikan performa yang kompetitif.

Tabel 5. Perbandingan akurasi dengan penelitian terdahulu

Peneliti	Metode	Dataset	Akurasi (%)
Syarif & Gunawan (2025)	Haar Cascade + FaceNet	10 identitas	92,00
Meldyantono & Poetro (2024)	CNN-FaceNet	5 identitas	95,00
Dang (2023)	Improved face recognition	30 identitas	96,50
Penelitian ini	MTCNN + FaceNet512	40 identitas	98,62

Keunggulan hasil penelitian ini dipengaruhi oleh beberapa faktor. Pertama, MTCNN memberikan deteksi wajah yang lebih robust karena menggunakan pendekatan multi-stage untuk menghasilkan bounding box dan landmark wajah. Kedua, FaceNet512 menghasilkan embedding berdimensi 512 yang lebih diskriminatif untuk pencocokan berbasis jarak. Ketiga, pengujian 19 nilai threshold dari 0,10 sampai 1,00 memungkinkan pemilihan titik operasi berdasarkan data, bukan asumsi. Keempat, evaluasi tidak hanya menggunakan akurasi, tetapi juga FAR, FRR, EER, dan validasi operasional, sehingga performa sistem dapat dinilai dari aspek keamanan dan kelayakan penggunaan.

DOI: <https://doi.org/10.69693/ijmst.v4i2.11994>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Hasil ini juga memperkuat pentingnya optimasi threshold dalam sistem pengenalan wajah. Sistem dengan model deep learning yang baik tetap dapat menghasilkan keputusan yang kurang optimal apabila threshold tidak dipilih secara tepat. Dalam penelitian ini, threshold 0,75 menjadi titik yang mampu mempertahankan FAR 0,00% sekaligus mencapai akurasi tertinggi. Dengan demikian, kontribusi utama penelitian bukan hanya pada implementasi sistem absensi, tetapi pada penyediaan prosedur evaluasi threshold yang dapat direplikasi untuk sistem biometrik berbasis FaceNet.

3.6 Implikasi hasil, validasi hipotesis, dan keterbatasan

Temuan utama penelitian ini memperlihatkan bahwa threshold bukan sekadar parameter teknis, melainkan komponen keputusan yang menentukan orientasi keamanan sistem biometrik. Pada sistem absensi, dampak false acceptance lebih kritis dibanding false rejection karena penerimaan impostor dapat menciptakan catatan kehadiran yang tidak sah. Oleh karena itu, threshold 0,75 dipilih karena menghasilkan FAR 0,00% sekaligus mempertahankan akurasi tertinggi. Pendekatan ini sesuai untuk sistem absensi yang menempatkan integritas data sebagai prioritas utama.

Validasi hipotesis menunjukkan bahwa seluruh dugaan awal penelitian terbukti secara empiris. Variasi threshold mengubah nilai akurasi, FAR, dan FRR secara terukur. Pola inverse antara FAR dan FRR juga terlihat konsisten, terutama ketika threshold melewati 0,75 dan FP mulai muncul. Dengan demikian, hasil penelitian mendukung teori sistem biometrik bahwa pemilihan threshold harus mempertimbangkan trade-off antara keamanan dan kenyamanan pengguna, bukan hanya nilai akurasi tertinggi secara tunggal.

Tabel 6. Rekapitulasi pembuktian hipotesis penelitian

Hipotesis	Bukti empiris	Status
H1	Akurasi berubah dari 96,25% pada threshold 0,10 menjadi 98,62% pada threshold 0,75.	Diterima
H2	FAR meningkat ketika threshold dinaikkan, sedangkan FRR menurun dari 100,00% menjadi 33,33%.	Diterima
H3	Threshold 0,75 menghasilkan akurasi tertinggi, FAR 0,00%, dan FRR 36,67%.	Diterima

Dari sisi operasional, sistem dapat digunakan sebagai prototipe absensi otomatis karena mampu mencatat transaksi secara langsung, menyimpan riwayat absensi pada SQLite, dan memberikan respons dalam waktu yang masih dapat diterima. Namun, penggunaan pada skala produksi tetap memerlukan penguatan keamanan, terutama liveness detection untuk mencegah spoofing menggunakan foto atau video. Selain itu, penambahan fallback authentication seperti PIN atau RFID tetap diperlukan agar pengguna sah yang mengalami false rejection dapat melakukan verifikasi alternatif tanpa mengganggu proses absensi.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Dataset yang digunakan masih terbatas pada 40 identitas sehingga generalisasi pada populasi besar belum dapat dipastikan. Pengujian real-world juga belum mencakup variasi ekstrem seperti low-light, backlight, penggunaan masker, perubahan usia, dan perbedaan kamera. Selain itu, sistem masih menggunakan single camera setup dan belum dievaluasi pada deployment jangka panjang. Keterbatasan tersebut membuka peluang penelitian lanjutan pada adaptive threshold, liveness detection, ekspansi dataset, serta optimasi waktu pemrosesan berbasis GPU atau edge computing.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi MTCNN dan FaceNet512 efektif ketika diikuti dengan prosedur evaluasi threshold yang sistematis. Tanpa optimasi threshold, sistem dapat tampak akurat tetapi berpotensi tidak aman atau tidak nyaman digunakan. Oleh karena itu, prosedur evaluasi yang melibatkan akurasi, FAR, FRR, EER, dan validasi operasional perlu dijadikan bagian penting dalam pengembangan sistem absensi berbasis wajah.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi nilai threshold Euclidean Distance berpengaruh terhadap akurasi pengenalan wajah pada sistem absensi real-time berbasis MTCNN dan FaceNet512. Pengujian terhadap 40 identitas dan 200 citra wajah menghasilkan threshold optimal sebesar 0,75 dengan akurasi 98,62%, FAR 0,00%, FRR 36,67%, dan EER 18,42%. Validasi operasional terhadap 1.389 transaksi absensi menghasilkan success rate 96,5% dengan waktu verifikasi 1,2 sampai 1,8 detik, sehingga sistem layak digunakan sebagai prototipe absensi biometrik berbasis wajah. Kontribusi ilmiah penelitian ini terletak pada optimasi threshold secara sistematis dan evaluasi komprehensif yang menghubungkan akurasi, keamanan, dan kelayakan operasional. Penelitian lanjutan disarankan memperluas dataset, menambahkan liveness detection, menguji kondisi real-world yang lebih beragam, serta mengembangkan adaptive threshold untuk menurunkan FRR tanpa meningkatkan FAR.

5. Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Program Studi Informatika Universitas Bina Sarana Informatika atas dukungan akademik yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini. Apresiasi juga diberikan kepada dosen

pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan evaluasi terhadap proses perancangan, pengujian, serta penyusunan artikel ilmiah ini. Terima kasih turut disampaikan kepada pihak Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia yang telah memberikan kesempatan dan dukungan dalam proses pengumpulan data serta pelaksanaan pengujian sistem absensi berbasis pengenalan wajah.

Daftar Pustaka

- Ahmad, M. S. Z., Ab. Aziz, N. A., & Ghazali, A. K. (2024). Development Of Automated Attendance System Using Pretrained Deep Learning Models. *International Journal On Robotics, Automation And Sciences*, 6(1), 1–8. <https://doi.org/10.33093/Ijoras.2024.6.1.1>
- Dang, T.-V. (2023). Smart Attendance System Based On Improved Facial Recognition. *Journal Of Robotics And Control*, 4(1), 53–61. <https://doi.org/10.18196/Jrc.V4i1.16685>
- Deng, J., Guo, J., Xue, N., & Zafeiriou, S. (2019). Arcface: Additive Angular Margin Loss For Deep Face Recognition. *Proceedings Of The IEEE/CVF Conference On Computer Vision And Pattern Recognition*, 4690–4699. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2019.00482>
- Diez-Tomillo, F. I., Paredes-Parra, J. M., Mateo-Aroca, A., & Molina-Garcia, A. (2023). Face Recognition System For Remote Worker Identification Using Dynamic Threshold Adaptation. *IEEE Access*, 11. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3298442>
- Guo, G., & Zhang, N. (2019). A Survey On Deep Learning Based Face Recognition. *Computer Vision And Image Understanding*, 189, 102805. <https://doi.org/10.1016/J.Cviu.2019.102805>
- Huang, G. B., Ramesh, M., Berg, T., & Learned-Miller, E. (2007). Labeled Faces In The Wild: A Database For Studying Face Recognition In Unconstrained Environments.
- Jain, A. K., Nandakumar, K., & Ross, A. A. (2016). 50 Years Of Biometric Research: Accomplishments, Challenges, And Opportunities. *Pattern Recognition Letters*, 79, 80–105. <https://doi.org/10.1016/J.Patrec.2015.12.013>
- Meldyantono, R., & Poetro, B. S. W. (2024). Implementasi Sistem Absensi Berbasis Pengenalan Wajah Menggunakan Metode CNN Dan Model Facenet. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*.
- Schroff, F., Kalenichenko, D., & Philbin, J. (2015). Facenet: A Unified Embedding For Face Recognition And Clustering. *Proceedings Of The IEEE Conference On Computer Vision And Pattern Recognition*, 815–823. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298682>
- Serengil, S. I., & Ozpinar, A. (2024). A Benchmark Of Facial Recognition Pipelines And Co-Usability Performances Of Modules. *Bogazici Journal*, 38(1), 1–14. <https://doi.org/10.21773/Boun.38.1.1>
- Syarif, M. A., & Gunawan, W. (2025). Attendance System Leveraging Haar Cascade Detection And CNN-Based Facenet Recognition Technology. *JOIV: International Journal On Informatics Visualization*, 9(1). <https://doi.org/10.30630/Joiv.9.1.0000>
- Zhalgas, A., Amirgaliyev, Y., & Sovet, L. (2025). Biometric Evaluation Framework Using Equal Error Rate For Face Recognition Systems. *International Journal Of Advanced Computer Science And Applications*, 16(1).
- Zhang, K., Zhang, Z., Li, Z., & Qiao, Y. (2016). Joint Face Detection And Alignment Using Multitask Cascaded Convolutional Networks. *IEEE Signal Processing Letters*, 23(10), 1499–1503. <https://doi.org/10.1109/LSP.2016.2603342>