

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi digital telah mendorong transformasi signifikan pada berbagai sektor, termasuk pendidikan, industri, dan pemerintahan. Salah satu bentuk transformasi tersebut adalah pemanfaatan sistem berbasis web untuk otomatisasi, yang tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga mendukung pengelolaan data yang lebih akurat dan real-time [1]. Dalam konteks pendidikan dan organisasi, salah satu proses yang memerlukan sistem otomatisasi adalah pencatatan kehadiran (*attendance*). Tetapi dalam praktiknya, sistem pencatatan kehadiran (*attendance*) di banyak institusi pendidikan maupun organisasi masih dikelola secara manual, misalnya dengan tanda tangan pada lembar absen atau penggunaan kartu. Metode konvensional ini memiliki banyak kelemahan, seperti rawan manipulasi data, terjadinya praktik titip absen, serta kesalahan dalam pencatatan yang dapat mengurangi validitas data kehadiran [2]. Beberapa penelitian menegaskan bahwa sistem manual tidak hanya menyulitkan pengajar atau manajer dalam mengelola waktu, tetapi juga berdampak pada akurasi data yang dihasilkan [3]. Kondisi tersebut menunjukkan urgensi perlunya sistem pencatatan kehadiran yang lebih modern, terintegrasi, serta mampu meminimalisasi kecurangan maupun kesalahan.

Penerapan teknologi biometrik dalam sistem absensi menjadi solusi yang relevan untuk mengatasi berbagai keterbatasan metode tradisional. Salah satu teknologi biometrik yang berkembang pesat adalah *face recognition*, yang mampu melakukan identifikasi individu berdasarkan citra wajah secara otomatis dan *real-time* [4]. *Face recognition* merupakan proses identifikasi dan verifikasi identitas seseorang melalui fitur wajah yang diperoleh dari citra digital. Proses ini melibatkan beberapa tahapan utama, yaitu *face detection*, *feature extraction*, serta *face verification* maupun *identification*. Pada tahap verifikasi, sistem membandingkan citra wajah untuk menentukan apakah dua gambar berasal dari individu yang sama (*1:1 matching*), sedangkan pada tahap identifikasi, sistem

melakukan pencocokan citra wajah dengan sejumlah data untuk menemukan identitas yang sesuai (1:N *matching*) [4]. Dengan struktur proses yang sistematis tersebut, teknologi *face recognition* memberikan peluang besar untuk diterapkan pada sistem absensi modern.

Dibandingkan dengan metode absensi konvensional, seperti tanda tangan manual atau mesin *fingerprint*, *face recognition* menawarkan tingkat akurasi yang lebih tinggi serta mengurangi risiko kecurangan [5]. Selain itu, penggunaan sistem berbasis wajah lebih higienis karena tidak memerlukan kontak fisik, sehingga sesuai dengan kebutuhan era pasca-pandemi [6]. Dalam konteks pengembangan *attendance system*, penerapan *face recognition* juga memberikan kemudahan integrasi dengan teknologi *deep learning*, yang telah terbukti meningkatkan kinerja deteksi dan identifikasi wajah dalam berbagai kondisi, termasuk variasi pose, ekspresi, serta pencahayaan. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa kombinasi model *face detection* dan *recognition* berbasis *deep learning*, seperti RetinaFace, FaceNet, maupun ArcFace, mampu mencapai akurasi sangat tinggi dalam proses identifikasi, sehingga sistem absensi dapat berjalan dengan cepat, akurat, dan real-time [6]. Hal ini menegaskan bahwa penggunaan *deep learning* tidak hanya menjadikan sistem absensi lebih efisien, tetapi juga lebih baik dalam menghasilkan data kehadiran yang valid dan sulit dimanipulasi [5].

Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan efektivitas penerapan *face recognition* dalam sistem absensi otomatis. Penelitian oleh Sahputra et al. menunjukkan bahwa algoritma deteksi wajah modern mampu mencapai akurasi pengenalan hingga 98% pada kondisi pencahayaan optimal dengan waktu deteksi rata-rata di bawah satu detik, sehingga menunjukkan kemampuan implementasi *real-time* pada lingkungan kelas [7]. Studi lain oleh Febiyani et al. menemukan tingkat akurasi sebesar 94% pada pengujian di lingkungan dalam ruangan dengan variasi pencahayaan, yang memperkuat bukti bahwa pengenalan wajah dapat menjadi solusi presensi yang efisien dan minim kontak fisik [8]. Keduanya menunjukkan performa baik pada kondisi pencahayaan yang memadai, namun mengalami penurunan akurasi saat berhadapan dengan kondisi pencahayaan rendah atau intensitas cahaya yang sangat berubah-ubah. Temuan ini menegaskan bahwa

faktor pencahayaan yang masih menjadi tantangan utama yang perlu ditangani untuk meningkatkan ketahanan dan keandalan sistem absensi berbasis *face recognition* dalam kondisi dunia nyata.

Hasil penelitian Djohari et al. menunjukkan bahwa performa sistem *face recognition* masih sangat bergantung pada kondisi pencahayaan (*illumination condition*). Penelitian tersebut mengembangkan sistem absensi pegawai berbasis pengenalan wajah menggunakan algoritma *Single Shot Detector* (SSD), yang diimplementasikan dengan Next.js, Tailwind CSS, PostgreSQL, dan pustaka *face-api.js*. Sistem diuji berdasarkan variasi jarak dan intensitas cahaya dengan rentang pencahayaan mulai dari redup (≤ 10 lux) hingga terang (≥ 100 lux). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi wajah secara akurat pada kondisi pencahayaan sedang hingga terang dengan jarak antara 40–80 cm, serta waktu deteksi rata-rata 5–8 detik. Tapi, deteksi wajah gagal dilakukan pada kondisi redup (≤ 10 lux), terutama pada jarak lebih dari 40 cm [5]. Temuan tersebut menegaskan bahwa *illumination condition* berperan penting dalam keberhasilan deteksi dan pengenalan wajah. Oleh karena itu, penanganan terhadap pencahayaan rendah menjadi aspek penting untuk meningkatkan robustness sistem absensi berbasis *face recognition* dalam kondisi nyata.

Variasi pencahayaan merupakan salah satu faktor paling signifikan yang memengaruhi kinerja sistem *face recognition*. Perubahan intensitas cahaya, arah sumber pencahayaan, maupun kondisi lingkungan seringkali menghasilkan citra wajah yang sangat berbeda meskipun berasal dari individu yang sama, sehingga menyebabkan penurunan akurasi sistem identifikasi. Penelitian oleh Lionnie et al. menegaskan bahwa banyak metode klasik, seperti *eigenfaces*, *fisherfaces*, maupun *Laplacian faces*, mengalami kesulitan dalam menghadapi citra alami dengan pencahayaan bervariasi [9]. Penelitian tersebut menyatakan bahwa kondisi pencahayaan yang tidak terkendali meningkatkan variasi antar kelas dan memperburuk performa pengenalan wajah. Untuk mengatasinya, berbagai pendekatan telah dikembangkan, seperti metode pra-pemrosesan berbasis ekualisasi histogram, *Gaussian Filter*, maupun penggunaan *Local Binary Pattern* (LBP) sebagai ekstraksi fitur. Hasil pengujian pada Extended Yale Face Database

B memperlihatkan bahwa penerapan strategi *illumination invariant* mampu meningkatkan akurasi hingga 87,98% [9].

Sejalan dengan itu, teknik *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) digunakan sebagai metode pra-pemrosesan untuk meningkatkan kontras dan visibilitas fitur wajah. CLAHE merupakan pengembangan dari *Adaptive Histogram Equalization* (AHE) dengan mekanisme *clip limit* yang membatasi amplifikasi kontras pada area homogen, sehingga mencegah *over-enhancement* dan artefak [10], [11]. Penelitian oleh Bendjillali et al. menerapkan CLAHE dengan menambahkan proses filtering selektif untuk menjaga detail penting citra wajah, dan mampu meningkatkan akurasi pengenalan wajah hingga 99,89% pada dataset Extended Yale B dan CMU PIE dengan CNN modern seperti VGG16, ResNet50, dan Inception-v3 [10]. Penerapan tersebut, menunjukkan bahwa CLAHE dapat membuat citra wajah lebih konsisten secara pencahayaan, mendukung ekstraksi fitur yang lebih akurat, serta meningkatkan robustitas sistem pengenalan wajah terhadap variasi pencahayaan.

Di sisi lain, penerapan pra-pemrosesan citra berbasis *Multiscale Retinex* (MSR) juga akan dikaji sebagai metode pembanding untuk melihat efektivitasnya dalam meningkatkan kualitas citra wajah, terutama pada kondisi pencahayaan rendah. MSR bekerja dengan mendekomposisi citra menjadi dua komponen utama, yaitu pencahayaan dan reflektansi, kemudian menggabungkan hasil *filter Gaussian* pada berbagai skala untuk menghasilkan citra yang lebih seimbang dan stabil. Proses ini memungkinkan citra wajah menjadi lebih terang tanpa mengubah warna asli, sehingga fitur-fitur penting wajah tetap dapat diekstraksi secara akurat [12]. Hasil penelitian oleh Suprihanto et al. menunjukkan bahwa penerapan MSR pada sistem *face recognition* berbasis PCA mampu meningkatkan akurasi identifikasi pada citra gelap dari 40% menjadi 76%, menunjukkan peningkatan performa yang signifikan dibandingkan citra mentah. Selain itu, penelitian lain menunjukkan bahwa setelah proses MSR, ukuran file citra berkurang sementara resolusi piksel tetap sama, sehingga detail pencahayaan menjadi lebih terlihat dan fitur wajah dapat diekstraksi secara lebih stabil [13].

Selain faktor *robustness* terhadap pencahayaan, efisiensi dalam arsitektur juga menjadi aspek yang sangat penting dalam pengembangan sistem absensi berbasis *face recognition*. Dalam hal ini, FaceNet telah terbukti menjadi pilihan yang lebih baik dibandingkan dengan model lain, seperti VGGFace dan GhostFaceNets, dalam hal akurasi pengenalan wajah. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Ardiawan dan Negarara, FaceNet menunjukkan kinerja yang sangat baik dengan akurasi 97,4% pada pengujian dan 97,05% pada validasi, lebih unggul dibandingkan dengan VGGFace yang memperoleh akurasi 97,05% pada validasi dan 96,1% pada pengujian [14]. Dalam hal deteksi wajah, penggunaan MTCNN juga menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan Haar Cascade. Penelitian oleh Prastyo dan Setyanto, menunjukkan bahwa MTCNN memiliki akurasi deteksi sebesar 93,75%, sementara Haar Cascade hanya mencapai 83,75%. Penelitian tersebut juga menunjukkan kombinasi FaceNet dengan MTCNN sebagai detektor wajah mampu memberikan hasil identifikasi wajah yang sangat akurat [15]. Selain itu, penelitian lain menunjukkan bahwa penggunaan FaceNet dengan SVM sebagai klasifikator menghasilkan performa yang sangat baik, dengan akurasi mencapai 99,862%, menjadikannya pilihan yang sangat efisien dan andal untuk sistem absensi berbasis wajah [16].

Berdasarkan identifikasi tantangan dan peluang yang telah diuraikan sebelumnya, permasalahan utama yang masih sering muncul dalam penerapan sistem *face recognition* untuk absensi adalah ketidakstabilan akurasi akibat perbedaan tingkat intensitas cahaya. Pada kondisi lux yang terlalu redup maupun sangat terang, sistem sering gagal mendeteksi wajah dengan benar, sehingga menurunkan reliabilitas data kehadiran. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem absensi dengan *face recognition* yang *robust* terhadap variasi pencahayaan melalui pendekatan *illumination invariant Preprocessing*. Untuk mencapai ketahanan terhadap perubahan pencahayaan, penelitian ini mengusulkan penggunaan teknik CLAHE sebagai metode pra-pemrosesan utama, yang kemudian akan dibandingkan kinerjanya dengan teknik MSR untuk melihat sejauh mana stabilitas kontras dan kecerahan dapat meningkatkan akurasi ekstraksi fitur. Setelah tahap pra-pemrosesan, sistem akan

menggunakan model FaceNet yang dikombinasikan dengan MTCNN untuk deteksi wajah dan SVM sebagai klasifikator, yang telah terbukti memberikan akurasi tinggi dalam deteksi dan pengenalan wajah [14],[15],[16]. Penelitian ini diharapkan menghasilkan prototipe sistem absensi otomatis berbasis aplikasi desktop yang mampu mengenali wajah dengan akurasi tinggi pada kondisi pencahayaan redup, sedang, maupun terang, yang diukur berdasarkan lux pada tiap kondisinya, serta tetap mempertahankan efisiensi dan reliabilitas dalam penerapannya di lingkungan nyata.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang menjadi fokus utama pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses pengumpulan dataset primer dilakukan agar mencakup variasi tingkat pencahayaan (rendah, sedang, dan tinggi), jarak pengambilan, serta variasi pose wajah?
2. Bagaimana pengaruh penerapan metode *illumination invariant Preprocessing* berbasis CLAHE pada saluran *Value* (HSV) dengan variasi *clip limit* dan metode MSR dalam memperbaiki distribusi pencahayaan pada citra wajah?
3. Bagaimana perbandingan efektivitas antara metode CLAHE, MSR, dan tanpa *Preprocessing* terhadap keberhasilan deteksi wajah serta akurasi pengenalan menggunakan ekstraksi fitur FaceNet dan klasifikasi SVM?
4. Bagaimana hasil integrasi model dengan parameter terbaik ke dalam prototipe sistem absensi berbasis desktop yang mampu bekerja secara *real-time* dan tetap *robust* terhadap variasi pencahayaan?

1.3. Batasan Masalah

Batasan yang ditetapkan pada masalah yang diamati pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian terbatas pada citra wajah manusia yang diperoleh melalui pengambilan data primer dengan tiga kondisi pencahayaan, yaitu redup

(≤ 20 lux), sedang ($> 20 - < 100$ lux), dan terang (≥ 100 lux) yang diukur menggunakan aplikasi lux pada mobile phone, dengan jarak 40 cm, 70 cm, dan 100 cm.

2. Metode *illumination Preprocessing* yang digunakan dalam penelitian ini dibatasi pada dua teknik *illumination invariant Preprocessing*, yaitu CLAHE (diterapkan pada *channel Value* dalam ruang warna HSV) dan *Multi-Scale Retinex* (MSR) sebagai metode pembanding.
3. Proses deteksi wajah menggunakan MTCNN, sedangkan pengenalan wajah menggunakan arsitektur FaceNet (InceptionResnetV1) yang dibatasi fungsinya sebagai ekstraktor fitur (*embedding*) tanpa melakukan *fine-tuning* atau modifikasi arsitektur.
4. Data augmentasi dilakukan untuk memperluas variasi dataset, meliputi rotasi, translasi dan *flipping*.
5. Evaluasi performa model dibatasi pada penggunaan metrik *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *F1-score* untuk menilai hasil *Preprocessing* dan pengenalan wajah. Selain itu, Penilaian dilakukan berdasarkan keberhasilan alur proses (*pipeline*), apabila tahap deteksi wajah gagal dilakukan, maka proses ekstraksi fitur dan klasifikasi tidak akan dilanjutkan, dan citra tersebut secara otomatis dikategorikan sebagai kegagalan identifikasi.
6. Hasil penelitian diimplementasikan dalam bentuk aplikasi desktop lokal berbasis GUI sederhana yang mencakup fungsi deteksi, identifikasi, dan pencatatan kehadiran secara *real-time* tanpa integrasi ke sistem *cloud* atau database eksternal perusahaan.
7. Fitur verifikasi keaktifan (*liveness detection*) dibatasi pada penggunaan metode *Eye Aspect Ratio* (EAR) untuk mendeteksi kedipan mata secara dua dimensi. Sistem belum dirancang untuk menangani serangan *spoofing* tingkat lanjut seperti *video replay attack* (rekaman video wajah).
8. Penelitian ini tidak membahas aspek keamanan data (*security*), privasi pengguna, maupun efisiensi penyimpanan citra dalam sistem absensi. Fokus penelitian hanya pada peningkatan performa pengenalan wajah di bawah variasi pencahayaan.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjawab rumusan masalah serta memberikan arahan yang lebih jelas bagi penelitian ini. Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan dataset wajah primer yang mencakup variasi tingkat pencahayaan (rendah, sedang, dan tinggi), jarak, serta variasi pose wajah untuk membangun dataset yang representatif bagi pengujian sistem.
2. Mengimplementasikan teknik *illumination invariant Preprocessing* berbasis CLAHE pada *channel Value* (HSV) sebagai metode utama dan MSR sebagai metode pembandingan untuk meningkatkan kualitas distribusi pencahayaan pada citra wajah.
3. Menganalisis performa sistem secara komparatif melalui metrik akurasi *voting*, nilai probabilitas, dan kestabilan deteksi wajah (*Valid Frames*) pada 27 skenario pengujian video dinamis.
4. Membangun prototipe sistem absensi berbasis desktop dengan mengintegrasikan model dengan performa terbaik agar mampu melakukan identifikasi secara *real-time* dan tetap tangguh terhadap kondisi pencahayaan di lingkungan nyata.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dapat diperoleh dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis
 - Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan metode *face recognition* yang memiliki ketahanan terhadap variasi pencahayaan dengan memanfaatkan teknik *illumination invariant Preprocessing*.
 - Menambah referensi terkait pemanfaatan arsitektur FaceNet dalam penelitian biometrik, khususnya pada konteks sistem absensi berbasis pengenalan wajah.

- Menjadi dasar kajian bagi penelitian selanjutnya dalam pengembangan model pengenalan wajah yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan nyata.

2. Manfaat Praktis

- Menyediakan alternatif solusi bagi institusi pendidikan dalam mengimplementasikan sistem absensi otomatis yang akurat, efisien, dan tahan terhadap variasi pencahayaan.
- Memberikan panduan teknis bagi pengembang aplikasi atau peneliti lain dalam memilih metode *Preprocessing* yang paling sesuai untuk kondisi pencahayaan yang tidak ideal.
- Mendukung upaya digitalisasi sistem kehadiran dan keamanan dengan teknologi pengenalan wajah yang lebih baik dan adaptif terhadap faktor lingkungan.