

Perancangan Sistem Palang Parkir Otomatis Dengan Pengenalan Wajah Menggunakan Metode *Eigenface*

<http://dx.doi.org/10.28932/jutisi.v11i1.10215>

Riwayat Artikel

Received: 24 Oktober 2024 | Final Revision: 22 Maret 2025 | Accepted: 22 Maret 2025

Creative Commons License 4.0 (CC BY – NC)



Yulius Dani Eko Saputro^{✉#1}, Yosefina Finsensia Riti^{#2}

[#] Teknik Ilmu Informatika, Universitas Katolik Darma Cendika
Jl. Dr. Ir. Soekarno No. 201, Surabaya, 60117, Indonesia

¹yuliusdani35@gmail.com

²yosefina.riti@ukdc.ac.id

[✉]Corresponding author: yuliusdani35@gmail.com

Abstrak — Masalah utama dalam penelitian ini adalah bahwa sistem parkir di kampus Universitas Katolik Darma Cendika masih mengandalkan metode manual, seperti penggunaan kartu dan tiket fisik, yang rentan terhadap kesalahan manusia, kurang efisien, mudah disalahgunakan, dan menimbulkan kekhawatiran terkait keamanan. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk meningkatkan keamanan serta efisiensi manajemen area parkir dengan mengurangi ketergantungan pada metode berbasis kartu atau tiket fisik. Penelitian ini melakukan pengumpulan data wajah dari individu dengan variasi sudut dan posisi wajah, kemudian data tersebut diproses lebih lanjut untuk meningkatkan kualitas gambar. Dengan menerapkan model *Eigenface*, sistem mampu mengenali wajah dengan akurasi 100% dalam kondisi pencahayaan dan jarak tertentu. Namun demikian, performa pengenalan wajah masih dipengaruhi oleh kualitas pencahayaan dan jarak antara kamera dan objek, menunjukkan bahwa optimasi lebih lanjut diperlukan. Rekomendasi yang diajukan termasuk penyesuaian pencahayaan dan posisi kamera untuk mendapatkan hasil gambar wajah yang lebih baik. Teknologi pengenalan wajah berbasis *Eigenface* yang diterapkan dalam penelitian ini memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi sistem palang parkir otomatis. Meski demikian, untuk mencapai hasil optimal dalam berbagai kondisi lingkungan, pengembangan lanjutan diperlukan. Dengan demikian, diharapkan sistem ini tidak hanya mampu mengenali wajah dengan akurat, tetapi juga dapat beroperasi dengan efektif dan efisien di lingkungan nyata. Selain itu, sistem ini juga menggunakan metode *Convolutional Neural Network* untuk membedakan antara wajah asli dan gambar wajah dari layar ponsel, sehingga meningkatkan keamanan sistem secara keseluruhan.

Kata kunci—*Eigenface*; Palang Parkir Otomatis; Pengolahan Citra; Pengenalan Wajah; Sistem Keamanan.

Design Of Automatic Parking Barrier System With Face Recognition Using Eigenface Method

Abstract — The main problem in this study is that the parking system on the campus of the Catholic University Of Darma Cendika still relies on manual methods, such as the use of cards and physical tickets, which are prone to human error, inefficient, easily misused, and raise security concerns. The main objective of this study is to improve the security and efficiency of parking area management by reducing dependence on card-based methods or physical tickets. This study collects facial data from individuals with various angles and facial positions, then the data is further processed to improve image quality. By applying the *Eigenface* model, the system is able to recognize faces with 100% accuracy under certain lighting and distance conditions. However, the performance of facial recognition is still affected by the quality of lighting and the distance between the camera and the object, indicating that further optimization is needed. Recommendations proposed include adjusting the lighting and camera position to obtain better facial image results. The *Eigenface*-based facial recognition technology applied in this study has great potential in improving the efficiency of the

automatic parking barrier system. However, to achieve optimal results in various environmental conditions, further development is needed. Thus, it is expected that this system will not only be able to recognize faces accurately, but also be able to operate effectively and efficiently in real environments. In addition, this system also uses the Convolutional Neural Network method to distinguish between real faces and facial images from the cellphone screen, thereby increasing the overall security of the system.

Keywords— Automatic Parking Bar; Eigenface; Facial Recognition; Image Processing; Security System.

I. PENDAHULUAN

Dalam era digital yang terus berkembang dengan pesatnya inovasi teknologi informasi dan komunikasi, kebutuhan akan sistem keamanan yang tidak hanya efisien tetapi juga canggih semakin mendesak, terutama di lingkungan yang memiliki tingkat mobilitas tinggi seperti kampus universitas [1]. Salah satu komponen yang baik dalam manajemen keamanan adalah sistem parkir yang tidak hanya harus mampu beroperasi dengan cepat dan efektif, tetapi juga harus dapat memastikan keamanan tambahan melalui proses verifikasi pengguna yang akurat dan andal. Sistem palang parkir konvensional yang saat ini banyak digunakan, yang umumnya bergantung pada penggunaan kartu akses atau tiket fisik, menghadapi berbagai keterbatasan signifikan seperti risiko kehilangan kartu, kemudahan pemalsuan tiket, serta kebutuhan akan pengelolaan fisik yang memakan waktu dan sumber daya manusia [2]. Kondisi ini menimbulkan perlunya adanya inovasi dalam pengembangan sistem keamanan parkir yang mampu memberikan perlindungan lebih baik dengan mengintegrasikan teknologi yang lebih maju dan modern.

Salah satu teknologi yang telah menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan sistem keamanan adalah teknologi pengenalan wajah. Teknologi ini memungkinkan identifikasi dan verifikasi identitas individu secara otomatis melalui analisis citra wajah yang diambil secara *real-time*, sehingga menawarkan tingkat keamanan yang lebih tinggi serta kemudahan akses bagi pengguna. Metode *Eigenface*, yang merupakan salah satu pendekatan populer dalam bidang pengenalan wajah, telah terbukti efektif dalam berbagai aplikasi keamanan berkat kemampuannya dalam mengenali wajah dengan akurasi tinggi meskipun dalam kondisi pencahayaan dan sudut pandang yang berbeda. Namun, salah satu tantangan dalam penerapan teknologi pengenalan wajah adalah kemampuan sistem untuk membedakan antara wajah asli dan gambar wajah yang ditampilkan melalui perangkat seperti ponsel. Untuk mengatasi masalah ini, diterapkan pula metode *Convolutional Neural Network (CNN)*, yang memiliki kemampuan unggul dalam mengenali pola kompleks pada citra, sehingga dapat membantu sistem untuk secara efektif membedakan antara wajah asli dengan wajah yang ditampilkan melalui layar ponsel.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh S L Lin dan J Y Wu [3], menggambarkan dalam kehidupan sehari-hari, sering kali terjadi kesalahan sederhana yang dapat berakibat fatal, seperti saat mengunci pintu kendaraan dengan kunci tradisional yang mudah rusak atau hilang. Untuk mengatasi masalah ini, diperkenalkan sistem modern berbasis pengenalan wajah melalui smartphone untuk membuka kunci kendaraan. Berdasarkan dataset yang terdiri dari 300 foto wajah yang digunakan dalam analisis komponen utama, sistem ini berhasil mencapai tingkat pengenalan wajah sebesar 92% setelah diuji sebanyak 100 kali. Meskipun begitu, keberhasilan pengenalan wajah masih dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kondisi pencahayaan, jarak, sudut pandang wajah, serta adanya penutup wajah seperti masker atau kacamata hitam. Penelitian lainnya oleh Divya Mangala B.S dan Prajwala N.B [4], mengenai ekspresi wajah manusia menggunakan metode *Eigenface* ini memanfaatkan perhitungan jarak *Euclidean* dalam penerapannya. Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk mengklasifikasikan tujuh emosi dasar, yaitu senang, marah, sedih, takut, jijik, terkejut, dan netral, dengan menggunakan 50 gambar ekspresi wajah yang dilatih menggunakan *Eigenface*. Wajah *Eigenface* yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan gambar uji. Pendekatan ini menerapkan *Principal Component Analysis (PCA)* untuk pengenalan wajah, dan hasil eksperimen menunjukkan tingkat pengenalan sebesar 98,5% untuk setiap emosi.

Penelitian yang lainnya oleh Rosnelly et al. [5], melibatkan wajah yang ditangkap melalui kamera laptop dengan resolusi 320 piksel x 240 piksel, kemudian diubah ukurannya menjadi 100 piksel x 100 piksel sebelum disimpan sebagai file wajah utama yang mencakup berbagai variasi ekspresi wajah. Variasi tersebut meliputi posisi menghadap ke depan tanpa senyuman, menghadap ke depan dengan senyum tipis, menghadap ke depan dengan senyum lebar, kepala dimiringkan ke kiri, dan kepala dimiringkan ke kanan. Dataset yang digunakan terdiri dari 3 sampel wajah yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan perangkat lunak pengenalan wajah menggunakan algoritma *Eigenface*. Hasilnya menunjukkan bahwa algoritma *Eigenface* mampu mengenali wajah dengan tingkat akurasi rata-rata sebesar 85%. Penelitian lainnya oleh Alwin Faul dan Fince Tinus Waruwu [6], mengenai pengujian kemiripan gambar digital untuk menentukan keaslian informasi yang terkandung di dalamnya. Deteksi kemiripan gambar sangat penting untuk memastikan apakah gambar tersebut benar-benar merepresentasikan objek aslinya. Penelitian ini menggunakan metode *Eigenface* untuk memeriksa dan mencocokkan tingkat kemiripan antar-gambar. Dengan memanfaatkan nilai *eigenface* dari 3 gambar, dapat diidentifikasi bahwa nilai *eigenface* lainnya dapat ditentukan berdasarkan matriks *eigenface* yang berasal dari setiap citra. Berdasarkan analisis nilai-nilai dari 3 gambar tersebut, penelitian ini menyimpulkan bahwa metode *Eigenface* mampu menghasilkan tingkat kemiripan wajah dengan akurasi sebesar 80%.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Faruqi et al. [7], mengenai pentingnya metode yang efektif, efisien, sederhana, dan ekonomis untuk mencegah peserta ujian proksi dalam ujian kompetitif. Proses manual yang ada tidak lagi efektif karena jumlah kandidat yang terus meningkat. Sistem validasi otomatis yang diusulkan menawarkan fitur lengkap untuk memastikan persaingan yang adil. Menggunakan dataset 10 foto wajah, metode ini cepat dan mampu mengenali wajah dengan akurasi lebih dari 97,88% tanpa memerlukan pelatihan tambahan. Meskipun menambah beberapa langkah dalam proses pendaftaran, sistem ini dianggap sebagai solusi terbaik untuk mencegah peserta ujian proksi dan memastikan hanya kandidat yang memenuhi syarat yang dapat mengikuti ujian. Penelitian lainnya oleh Rendy Bagus Pratama [8], membahas sistem parkir yang dirancang untuk memudahkan pengguna dalam menemukan lokasi parkir, serta memungkinkan pengembangan lebih lanjut, seperti sistem pemesanan lokasi parkir atau pembayaran parkir menggunakan uang elektronik. Pengujian sistem dilakukan dengan 90 data berbeda, mencakup objek dan waktu yang bervariasi. Hasil pengujian algoritma yang diterapkan pada sistem parkir menunjukkan hasil optimal saat slot parkir terisi penuh atau tidak terisi. Dari 23 pengujian, diperoleh rata-rata hasil sebesar 66,67%.

Penelitian yang dilakukan oleh Jamhari et al. [9], membandingkan pengenalan citra wajah menggunakan algoritma *Eigenface* dengan dua teknik ekstraksi fitur, yaitu PCA dan LDA, yang diimplementasikan secara *real-time* pada platform komputer. Tujuan utamanya adalah menentukan metode yang memiliki tingkat akurasi tertinggi dalam pengenalan wajah. Tantangan yang dihadapi selama pengujian akurasi termasuk perbedaan tingkat pencahayaan antara dataset dan subjek uji coba, serta perubahan atribut seperti rambut dan janggut yang dapat mempengaruhi hasil akurasi. Dari pengujian terhadap 9 sampel, ditemukan bahwa algoritma *Eigenface* dengan ekstraksi fitur PCA mencapai akurasi 98,06%, sementara dengan ekstraksi fitur LDA mencapai akurasi 97,73%. Penelitian yang dilakukan oleh Saputra et al. [10], membahas teknologi keamanan yang bergantung pada manusia saja seringkali kurang efektif karena potensi kelelahan. Sebagai solusi, digunakan sistem pendukung seperti barcode, RFID, dan password. Namun, media-media tersebut memiliki kelemahan seperti kemungkinan hilang, rusak, dicuri, atau disalahgunakan. Sebagai alternatif, sistem keamanan berbasis data wajah diusulkan. Penelitian ini memanfaatkan Raspberry Pi 3 dengan webcam Logitech C525 dan Arduino Uno untuk sensor. Dataset yang digunakan terdiri dari 4 objek wajah. Sistem memberikan output berupa alarm, visual, dan SMS. Metode *Haar Classifier* dan *Eigenface* digunakan untuk deteksi dan pengenalan wajah. Hasil pengujian menunjukkan akurasi deteksi wajah terbaik sebesar 100% pada jarak 40 cm, dengan akurasi pengenalan wajah keseluruhan mencapai 75%. Sistem software dan hardware terintegrasi tanpa error, dengan waktu rata-rata pengenalan wajah sebesar 0,11536 detik.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Hapsari et al. [11], mengenai pengembangan tongkat pintar untuk tunanetra yang dilengkapi dengan fitur pengenalan wajah menggunakan teknologi Haar-Like dan *Eigenface*. Produk ini dirancang untuk menjadi portable, *real-time*, dan wearable. Raspberry Pi digunakan untuk portabilitas dan komputasi algoritma pengenalan wajah, sementara kamera Raspi terintegrasi pada kacamata untuk fungsi wearable, dan keluaran suara memberikan informasi mengenai deteksi wajah. Prototipe ini dapat mengenali satu wajah dalam waktu 3 detik pada jarak antara 0,25 hingga 1,5 meter dari kamera. Sistem memerlukan waktu 5 detik untuk mengenali 2 wajah dan 10 detik untuk mengenali 3 wajah dalam rentang yang sama. Akurasi deteksi wajah bervariasi tergantung pada posisi wajah terhadap kamera, dengan akurasi tertinggi sebesar 91,67% untuk posisi tertentu dan antara 18-32% untuk posisi lainnya.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh [12], [13], [14], mengembangkan sistem penguncian pintu pintar berbasis teknologi pengenalan wajah menggunakan Arduino UNO dan Android, dengan akurasi 72% pada tiga objek wajah, serta sistem face detection menggunakan ESP 32-CAM yang berhasil mencapai akurasi 90% dengan integrasi IoT melalui aplikasi Telegram untuk keamanan rumah. Penelitian yang dilakukan oleh [15], [16], [17], [18], mengembangkan sistem kunci otomatis sepeda motor berbasis pengenalan wajah dengan metode *Eigenface* dan Raspberry Pi, serta sistem keamanan brankas menggunakan Arduino Uno, sensor sidik jari, dan buzzer, menunjukkan efektivitas dalam pengamanan dengan akurasi 100% untuk pengenalan wajah dan alarm otomatis pada brankas jika dipindahkan.

Penelitian yang dilakukan oleh Humaira et al. [19], mengembangkan sistem keamanan pintu rumah berbasis ESP32 Cam dengan algoritma pengenalan wajah, yang mampu membuka pintu dalam 1,2 detik untuk wajah terdaftar pada jarak optimal 30-35 cm, serta mengirimkan notifikasi Telegram ke pemilik rumah.

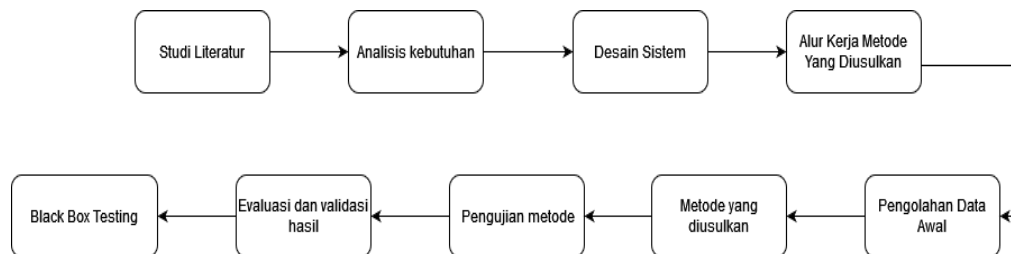
Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengembangkan, dan mengimplementasikan sebuah sistem palang parkir otomatis yang berbasis pada teknologi pengenalan wajah menggunakan kombinasi metode *Eigenface* dan CNN, dengan fokus studi kasus di Kampus Universitas Katolik Darma Cendika (UKDC). Sistem yang diusulkan ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi serta keamanan dalam proses parkir dengan mengeliminasi kebutuhan akan tiket fisik atau kartu akses, sehingga pengguna dapat mengakses area parkir dengan lebih cepat dan nyaman hanya melalui verifikasi wajah mereka. Selain itu, penerapan CNN diharapkan mampu meningkatkan keandalan sistem dalam membedakan wajah asli dari potensi kecurangan seperti penggunaan gambar wajah melalui ponsel, yang pada gilirannya akan memperkuat keamanan sistem secara keseluruhan.

Dalam penelitian ini, akan dibahas secara komprehensif mengenai proses perancangan sistem, mulai dari analisis kebutuhan, perancangan arsitektur sistem, pemilihan metode pengenalan wajah yang tepat, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan, hingga evaluasi kinerja sistem yang dikembangkan. Evaluasi tersebut akan mencakup

aspek akurasi pengenalan wajah, kemampuan sistem dalam mendeteksi wajah asli dibandingkan dengan wajah pada ponsel, kecepatan respon sistem, serta tingkat kepuasan pengguna yang menggunakan sistem palang parkir otomatis ini. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk memberikan solusi yang efektif bagi permasalahan parkir di Kampus UKDC, tetapi juga diharapkan dapat dijadikan referensi dan diadopsi oleh institusi-institusi pendidikan lain atau lingkungan serupa yang memerlukan sistem keamanan parkir yang lebih canggih dan terintegrasi dengan teknologi terkini.

II. METODE PENELITIAN

Dalam melakukan penelitian maka perlu melakukan langkah-langkah yang dimulai dengan studi literatur, perancangan sistem, pengumpulan data, dan pemrosesan data. Metode yang diusulkan kemudian diujicobakan dan diuji, dengan hasil dievaluasi dan divalidasi. Gambar 1 juga mencakup desain dengan alur untuk memvisualisasikan desain dan fungsionalitas sistem yang akan dibuat.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

A. Studi literatur

Studi literatur adalah mengacu pada proses pengumpulan informasi teori berdasarkan sumber-sumber yang relevan dengan topik terkait pengenalan wajah dan sistem parkir otomatis. Teori-teori yang digunakan dalam penelitian ini mencakup teknologi pengenalan wajah, metode *Eigenface*, dan Convolutional Neural Network (CNN) yang diintegrasikan untuk membedakan antara wajah asli dan gambar wajah dari perangkat seperti ponsel.

B. Analisis Kebutuhan

1) Kebutuhan Data

Dalam penelitian ini, data wajah dikumpulkan secara mandiri untuk keperluan pengembangan sistem pengenalan wajah. Dataset yang berhasil diperoleh terdiri dari 300 gambar wajah dengan variasi ukuran, resolusi, kondisi pencahayaan, dan ekspresi wajah yang berbeda.

2) Kebutuhan Perangkat Keras (*Hardware*)

Kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak untuk membangun sistem palang parkir otomatis sangat penting dalam memastikan sistem berfungsi dengan baik. Perangkat keras yang digunakan untuk memproses data dan menampilkan hasil meliputi beberapa komponen, seperti Arduino Uno R3 SMD MEGA328P, motor servo TowerPro SG90, LED hijau dan merah, resistor, buzzer, LCD 16x2 1602 I2C, kabel jumper, solder, cutter, penggaris, lem atau perekat, triplek, baut, obeng plus, dan tang.

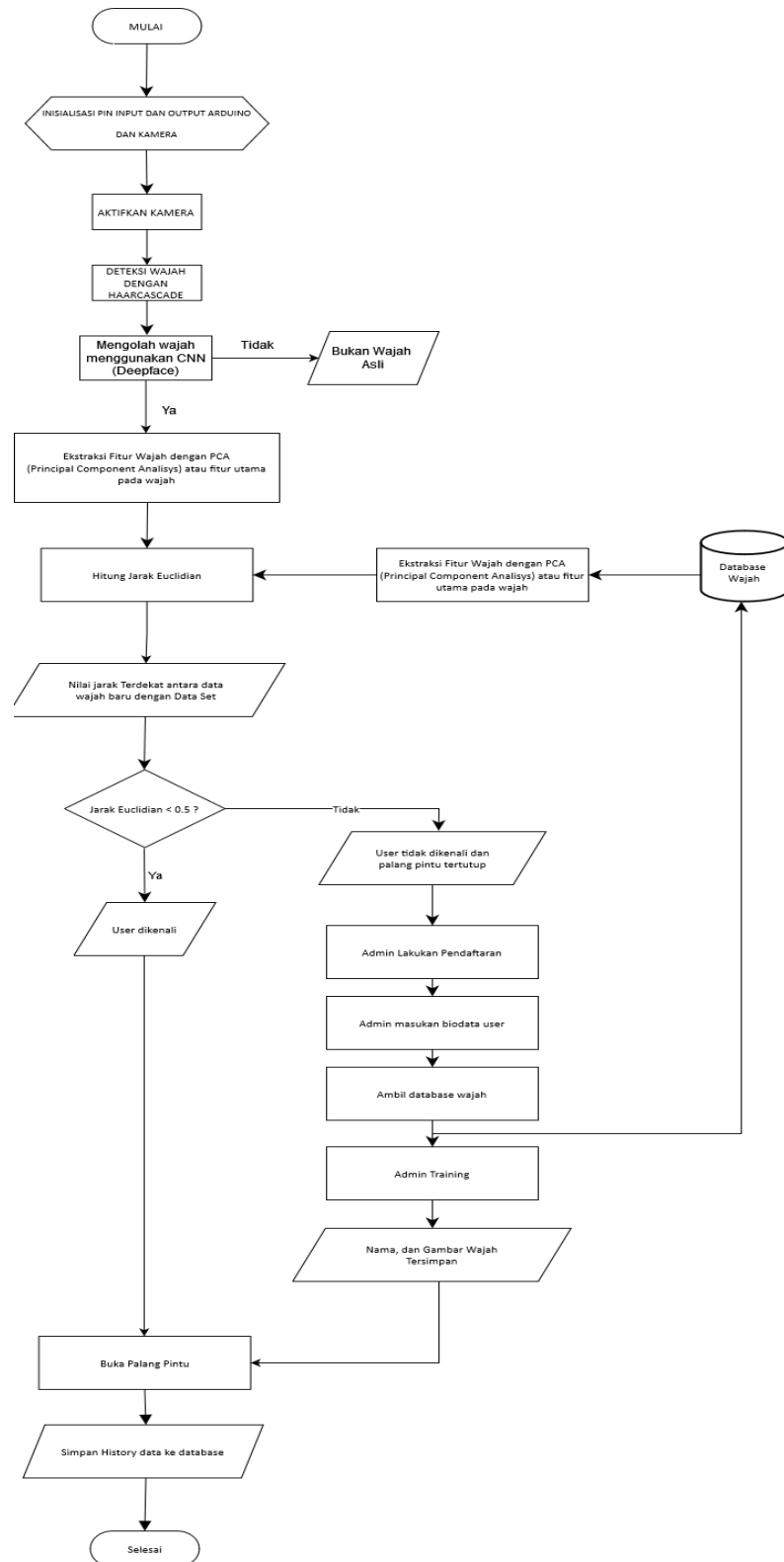
3) Kebutuhan Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak juga berperan dalam mengontrol dan berkomunikasi dengan perangkat keras. Perangkat lunak yang digunakan dalam pengembangan sistem ini adalah Arduino IDE dan Sublime Text. Kombinasi perangkat keras dan perangkat lunak ini memastikan sistem palang parkir otomatis dapat bekerja sesuai dengan instruksi yang diberikan.

C. Desain Sistem

Desain sistem adalah proses desain akan mengubah kebutuhan menjadi rancangan aplikasi yang dapat diprediksi hasilnya sebelum dijalankan. Fokusnya adalah di dalam aspek-aspek prosedural, seperti flowchart aplikasi dan desain UI/UX.

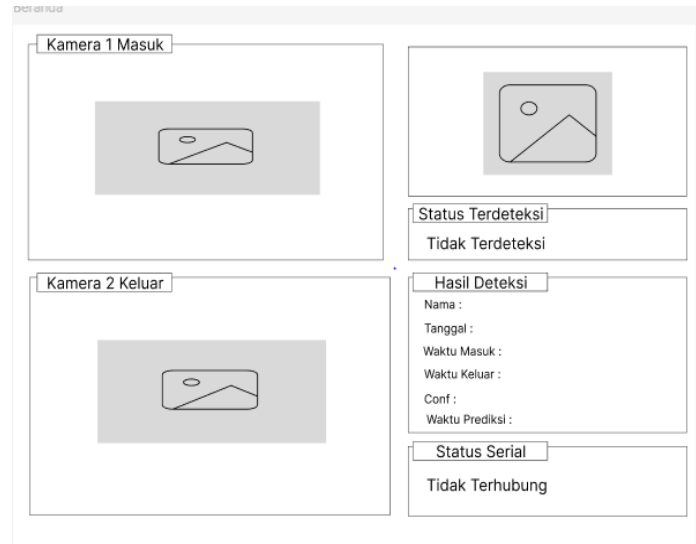
1) Flowchart Sistem



Gambar 2. Flowchart Sistem Palang Parkir

Gambar 2 menggambarkan alur sistem yang dirancang untuk meningkatkan keamanan dan mempermudah akses di parkir Kampus UKDC. Proses dimulai dengan inialisasi kamera, kemudian wajah pengguna yang mendekati palang parkir ditangkap dan dideteksi menggunakan metode Haar Cascade. Jika wajah terdeteksi, fitur wajah diekstraksi menggunakan PCA dan dibandingkan dengan database wajah melalui perhitungan jarak Euclidean. Jika jarak kurang dari 0,5 ambang batas (*threshold*), wajah dianggap dikenali dan palang parkir terbuka. Jika tidak dikenali, pengguna diminta mendaftar dan wajahnya disimpan untuk pengenalan di masa mendatang. Setiap aktivitas dicatat dalam database riwayat akses, dan sistem kembali siap untuk pengguna berikutnya.

2) User Interface



Gambar 3. Tampilan Beranda

Desain antarmuka pengguna grafis (GUI) pada Gambar 3 dirancang untuk memantau dua kamera yang mengawasi area masuk dan keluar parkir. Pada bagian kiri atas, terdapat tampilan dari kamera 1 yang memonitor area masuk, sementara di bagian kiri bawah, tampilan dari kamera 2 yang memonitor area keluar. Kedua tampilan ini menyediakan visual dari apa yang direkam oleh masing-masing kamera. Di sebelah kanan tampilan kamera, terdapat beberapa panel informasi penting. Di bagian atas, terdapat panel *frame* yang menampilkan hasil *frame* yang terdeteksi oleh kamera yang sedang dipantau, baik itu dari kamera 1 (masuk) atau kamera 2 (keluar). Tepat dibawahnya, terdapat panel status terdeteksi yang menunjukkan status deteksi dari sistem, memberikan informasi apakah ada objek atau orang yang terdeteksi dalam *frame* saat ini.

Selanjutnya, dibawah panel *frame* dan status terdeteksi, terdapat panel hasil deteksi yang memberikan detail lebih lanjut mengenai objek atau orang yang terdeteksi. Informasi yang ditampilkan mencakup nama objek atau orang yang terdeteksi, tanggal deteksi, waktu masuk, dan waktu keluar dari area yang diawasi, serta tingkat akurasi atau confidence dari deteksi tersebut. Sistem ini juga terdapat metode *Deepface* dengan *Convolutional Neural Network (CNN)* untuk mengenali wajah orang, memastikan identifikasi yang akurat. Pada bagian paling bawah di sebelah kanan, terdapat panel status serial yang menunjukkan status koneksi serial dari sistem. Panel ini memberikan informasi apakah koneksi serial ke perangkat seperti IoT sedang terhubung atau tidak.

| Id | Nama | | |
|----|---------|------|-------|
| 01 | Jonshon | Edit | Hapus |
| 02 | Agus | Edit | Hapus |
| | | | |

Nama :

File Gambar :

Pilih Gambar Dari File Ambil Gambar Dari Galeri

Simpan

Training Model

Preview

Gambar 4. Tampilan Input Wajah dan Identitas Diri

Desain GUI pada Gambar 4 dirancang untuk memudahkan pengguna dalam mengelola *database* gambar dan informasi terkait. Di kiri atas, terdapat tabel yang menampilkan daftar entri dengan kolom ID dan Nama, lengkap dengan tombol "Edit" dan "Hapus" untuk setiap entri. Dibawah tabel, formulir memungkinkan pengguna menambahkan entri baru dengan dua kolom input untuk nama dan file gambar. Terdapat juga tombol "Pilih Gambar Dari File" dan "Ambil Gambar Dari Galeri" untuk mengunggah gambar. Tombol "Simpan" digunakan untuk menyimpan entri baru atau perubahan, dan tombol "Training Model" berfungsi untuk melatih model pengenalan gambar berdasarkan data yang diunggah. Di kanan atas, area pratinjau menampilkan gambar yang sedang dipilih, memberikan visualisasi langsung sebelum disimpan ke dalam *database*, dengan label "Preview" dibawahnya.

D. Pengolahan Data Awal

Pada tahap ini, data wajah yang telah dikumpulkan melalui proses perekaman diproses lebih lanjut untuk meningkatkan kualitas dan konsistensinya. Pengolahan awal data meliputi beberapa langkah penting, seperti normalisasi ukuran gambar, penyesuaian pencahayaan, dan pemotongan area wajah untuk menghilangkan elemen-elemen yang tidak relevan.

E. Metode Yang Diusulkan

Penelitian ini mengusulkan metode pengenalan wajah berbasis *Eigenface* yang dikombinasikan dengan *Convolutional Neural Network (CNN)* untuk mendeteksi wajah asli dan membedakannya dari gambar yang ditampilkan melalui perangkat seperti ponsel. Metode ini dirancang untuk meningkatkan akurasi serta keamanan sistem palang parkir otomatis. *Eigenface* digunakan untuk mengenali wajah, sementara CNN memastikan validitas wajah yang diidentifikasi.

F. Pengujian Metode

Sistem dibangun, metode pengenalan wajah diuji dengan menggunakan dataset yang telah dikumpulkan. Pengujian dilakukan dalam berbagai kondisi, seperti variasi pencahayaan, sudut pandang, dan ekspresi wajah. Selain itu, sistem juga diuji untuk memastikan kemampuan CNN dalam membedakan wajah asli dari gambar pada ponsel

G. Evaluasi Dan Validasi Hasil

Hasil pengujian dievaluasi untuk menilai performa sistem dalam mengenali wajah secara akurat dan efektif. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengenalan wajah yang dihasilkan oleh sistem dengan data wajah asli yang telah dikumpulkan.

H. Implementasi

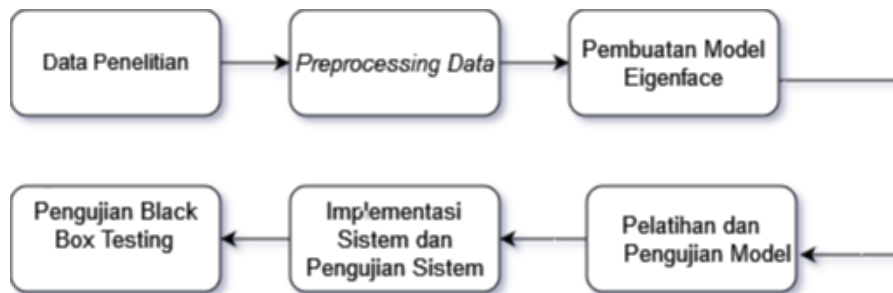
Setelah sistem berhasil diuji dan dievaluasi, tahap implementasi dilakukan dengan menerapkan sistem palang parkir otomatis di lingkungan nyata, yaitu di Kampus UKDC. Sistem ini diintegrasikan dengan perangkat keras seperti Arduino, motor servo, dan sensor, serta dipantau untuk memastikan bahwa sistem berjalan dengan lancar dalam operasional sehari-hari.

I. Black Box Testing

Black Box Testing dilakukan untuk menguji fungsionalitas sistem dari perspektif pengguna. Pengujian ini berfokus pada input dan output sistem tanpa melihat kode atau struktur internalnya. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa sistem dapat menerima input berupa gambar wajah dan menghasilkan keluaran yang sesuai, seperti membuka atau menutup palang parkir, berdasarkan hasil pengenalan wajah.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

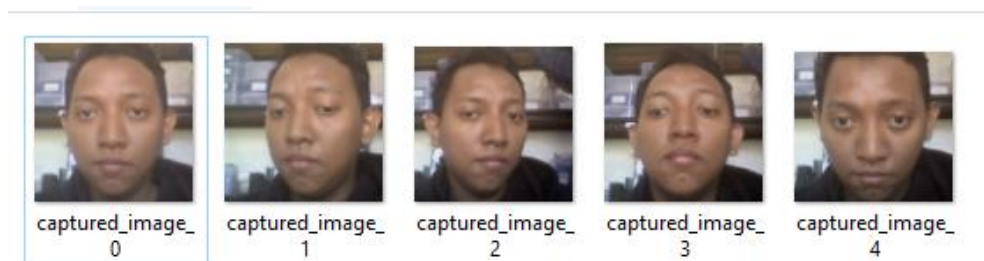
Pada Gambar 5, akan dibahas mengenai alur pembahasan sistem dan metode :



Gambar 5. Alur Pembahasan Sistem dan Metode

A. Data Penelitian

Kumpulan gambar wajah ini digunakan sebagai dasar untuk melatih algoritma pengenalan wajah menggunakan metode *Eigenface*, yang berperan dalam meningkatkan akurasi sistem. Contoh gambaran dataset pada Gambar 6 yang digunakan terdiri dari gambar wajah yang diambil dari pengguna parkir di UKDC. Setiap pengguna memberikan serangkaian foto wajah yang akan digunakan dalam proses pelatihan dan pengujian sistem pengenalan wajah. Total 5 foto wajah per pengguna diambil untuk membentuk dataset awal. Foto-foto diambil dalam berbagai kondisi pencahayaan dan sudut untuk memastikan ketahanan dari sistem pengenalan wajah. Gambar-gambar disimpan dalam format digital standar seperti JPEG, JPG atau PNG.



Gambar 6. Gambaran dataset

B. Preprocessing Data

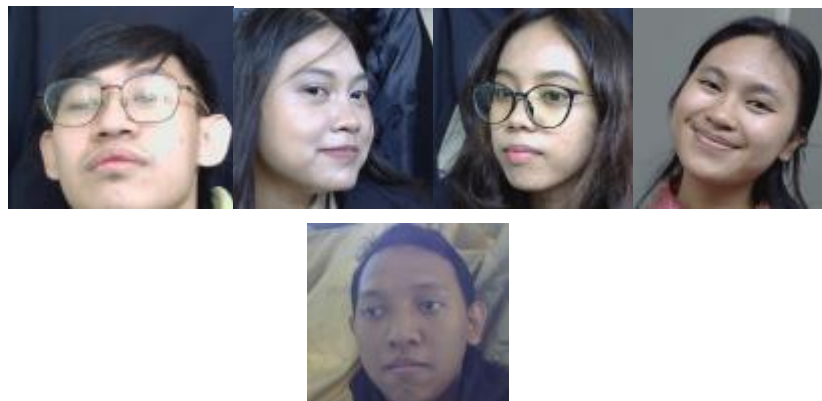
Preprocessing data merupakan langkah krusial dalam pengembangan sistem pengenalan wajah yang akurat dan efisien. Pada tahap ini, data mentah diolah menjadi format yang sesuai untuk pelatihan model. Langkah-langkah utama meliputi pembacaan dataset, deteksi wajah, dan ekstraksi fitur penting menggunakan metode *Eigenface* yang didasarkan pada *Principal Component Analysis (PCA)*. Tahap pertama adalah deteksi wajah menggunakan model *Haar Cascade*, yang mampu mendeteksi wajah dalam berbagai kondisi pencahayaan dan sudut. Setelah wajah terdeteksi, dilakukan normalisasi dengan mengubah ukuran gambar menjadi dimensi seragam, yaitu 200 x 200 piksel. Langkah ini memastikan konsistensi data, mengurangi variabilitas yang tidak diperlukan, dan memungkinkan model fokus pada fitur penting wajah. Tahap berikutnya adalah penerapan PCA untuk mengekstraksi dan mengurangi dimensi fitur wajah, yang penting untuk meningkatkan efisiensi dan kecepatan proses pelatihan model. Fitur wajah ini kemudian dikonversi menjadi vektor numerik yang siap digunakan dalam algoritma pembelajaran mesin. Data wajah yang di-encode dengan PCA disimpan bersama identitasnya, memudahkan proses pelatihan dan pengujian sistem pengenalan wajah. Dengan preprocessing yang sistematis, data yang digunakan untuk pelatihan model menjadi lebih bersih, efisien, dan relevan.

C. Pembuatan Model Eigenface

Dalam proyek ini https://github.com/yuliusdani35/program_palang.git, digunakan dua model penting, yaitu 'dlib_face_recognition_resnet_model_v1.dat' dan 'shape_predictor_68_face_landmarks.dat'. Model pertama merupakan jaringan saraf dalam (ResNet) yang menghasilkan vektor 128 dimensi untuk mencocokkan wajah dengan database, sementara model kedua mendeteksi 68 landmark wajah yang penting untuk analisis fitur. Kedua model ini memungkinkan deteksi dan pengenalan wajah dengan akurasi tinggi. Proses pembuatan model dimulai dengan mengimpor pustaka seperti *OpenCV (cv2)*, *numpy*, *PCA* dari *sklearn.decomposition*, dan *dlib*. Kode menginisialisasi model deteksi wajah dan prediksi landmark. Fungsi utama *load_and_preprocess_image* memuat gambar, mengubahnya menjadi *grayscale*, mendeteksi wajah, mengekstrak ROI wajah, dan mengubah ukuran wajah menjadi 200x200 piksel. Fungsi *load_dataset* kemudian memproses gambar dan label untuk pelatihan. *Principal Component Analysis (PCA)* digunakan untuk mereduksi dimensi data gambar wajah. Model PCA dilatih dengan 50 komponen utama dan disimpan dalam file *eigenface_model.pkl* menggunakan *pickle*. Ini memungkinkan penggunaan kembali model tanpa perlu melatih ulang. Langkah-langkah ini memastikan data dan model PCA siap digunakan dalam aplikasi pengenalan wajah berbasis *Eigenface*.

D. Pelatihan dan Pengujian Model

Adapun hasil pengujian model dapat dilihat pada gambar 7 berikut:

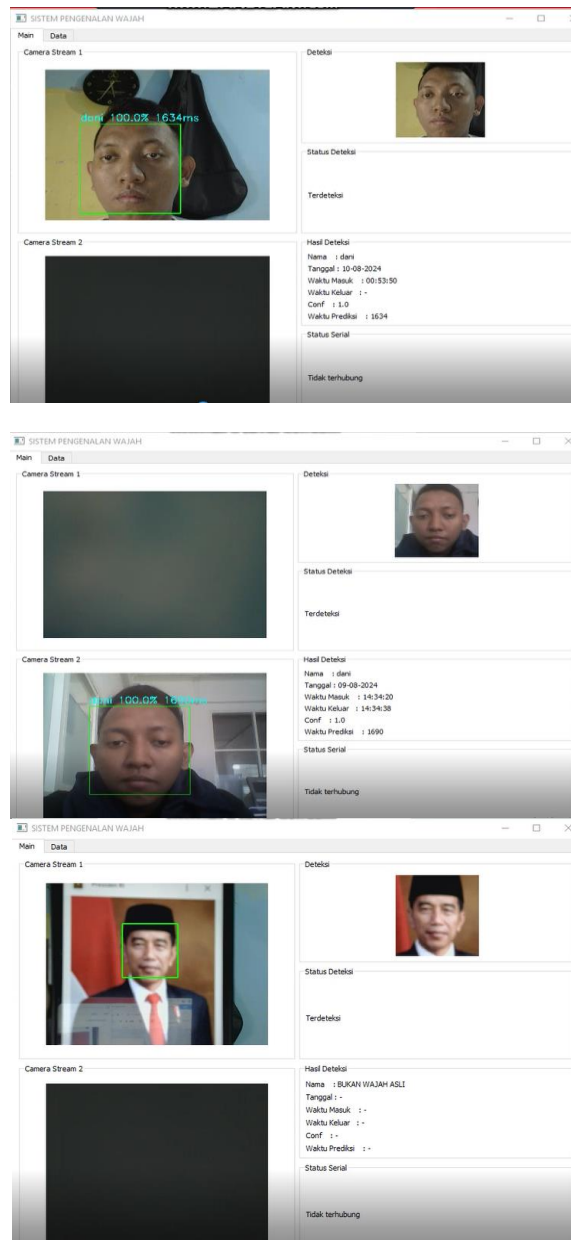


Gambar 7. Hasil Pengujian Model

Pengujian model pengenalan wajah dengan metode *Eigenface* sangat penting untuk memastikan keandalan dalam berbagai kondisi. Model dilatih menggunakan *Principal Component Analysis (PCA)* untuk mengekstraksi fitur wajah dari dataset yang mencakup variasi posisi dan ekspresi, seperti wajah menghadap samping atau tersenyum. Variasi ini membantu model mengenali wajah secara akurat dalam berbagai kondisi nyata. Proses pengujian dimulai dengan *preprocessing*, di mana gambar wajah diubah menjadi *grayscale*, wajah dideteksi, dan landmark wajah diidentifikasi menggunakan model *shape_predictor_68_face_landmarks.dat*. Wajah kemudian diubah ukurannya menjadi 200x200 piksel dan diproses menggunakan *PCA* untuk mengekstraksi fitur utama. Vektor fitur yang dihasilkan dibandingkan dengan data pelatihan menggunakan jarak Euclidean untuk menentukan identitas wajah. Pengujian dilakukan pada dataset dengan variasi posisi dan ekspresi untuk mengevaluasi akurasi model. *PCA* membantu mengurangi dimensi data, fokus pada fitur wajah yang relevan, dan meningkatkan efisiensi pengenalan wajah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model dapat mengenali wajah dengan akurasi tinggi meskipun ada variasi, dengan potensi peningkatan melalui penyesuaian parameter dan dataset yang lebih besar. Model *Eigenface* terbukti efektif untuk pengenalan wajah, dan evaluasi lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan kinerja dalam aplikasi dunia nyata.

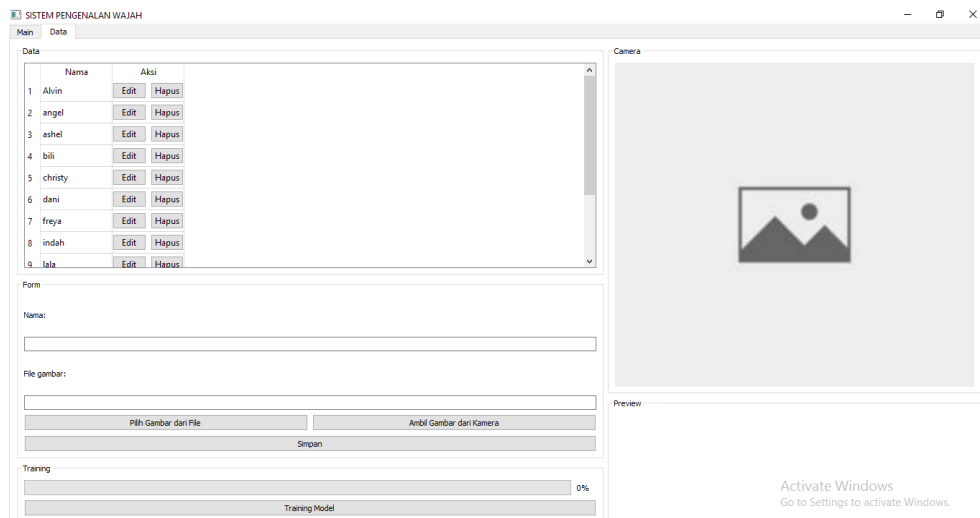
E. Implementasi Sistem dan Pengujian Sistem

Berikut ini implementasi desain serta pengujian sistem untuk sistem yang telah dibuat:



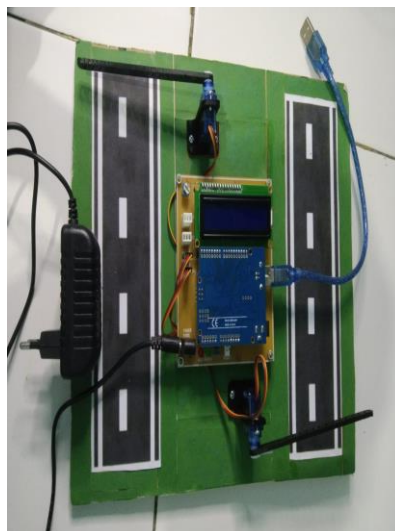
Gambar 8. Tampilan Sistem Awal User

Implementasi desain pada Gambar 8 menampilkan sistem awal yang memantau dua kamera untuk area masuk dan keluar. Di kiri atas, tampilan kamera 1 memantau area masuk, sedangkan di kiri bawah, kamera 2 memantau area keluar. Kedua tampilan memberikan visualisasi rekaman dari masing-masing kamera. Di sebelah kanan terdapat panel informasi, termasuk panel *frame* yang menunjukkan hasil deteksi dari kamera, dan panel status yang memberikan informasi tentang objek atau orang yang terdeteksi. Dibawahnya, panel hasil deteksi menampilkan detail seperti nama objek, tanggal, waktu masuk/keluar, dan tingkat akurasi. Panel status serial di bagian bawah kanan menunjukkan status koneksi ke perangkat IoT. Sistem ini menggunakan berbagai metode deteksi dan pengenalan wajah, seperti *Haar Cascade* untuk pendeteksian awal, *CNN* untuk pengenalan wajah, dan *Eigenface* untuk analisis mendalam. Integrasi metode ini memastikan akurasi dan responsivitas dalam mengenali kehadiran objek dalam area yang dipantau.



Gambar 9. Tampilan Admin Untuk Sistem

Implementasi desain pada Gambar 9 adalah antarmuka untuk mengelola database gambar dan informasi terkait, memudahkan pengguna untuk menambah, mengedit, dan menghapus data gambar. Di kiri atas, terdapat tabel yang menampilkan daftar entri dengan dua kolom: ID dan Nama, lengkap dengan tombol "Edit" dan "Hapus" untuk setiap entri, contohnya alvin (ID 01) dan angel (ID 02). Dibawah tabel, terdapat formulir untuk menambahkan entri baru, dengan kolom untuk nama dan pengunggahan gambar. Terdapat tombol "Pilih Gambar Dari File" dan "Ambil Gambar Dari Galeri", serta tombol "Simpan" untuk menyimpan entri baru atau perubahan yang ada. Tombol "Training Model" juga tersedia untuk melatih model pengenalan gambar menggunakan data yang diunggah. Di kanan atas, area pratinjau menampilkan gambar yang sedang dipilih, memungkinkan pengguna melihat pratinjau sebelum menyimpan. Selanjutnya, hasil dari prototipe palang parkir otomatis ditampilkan. Adapun Gambar 10 merupakan hasil dari Prototipe Palang Parkir Otomatis:










Gambar 10. Prototipe Palang Parkir Otomatis

Gambar 10 menunjukkan prototipe palang parkir otomatis yang terdiri dari beberapa komponen kunci, seperti modul mikrokontroler, kamera, dan layar LCD. Modul mikrokontroler bertanggung jawab untuk mengontrol keseluruhan sistem, sementara kamera digunakan untuk menangkap gambar wajah pengguna. Gambar yang diambil selanjutnya diproses dengan metode *Eigenface* untuk mengenali wajah pengguna yang terdaftar. Jika sistem berhasil mengenali wajah, palang parkir akan terbuka secara otomatis, memberikan akses masuk. Layar LCD berfungsi untuk

menampilkan informasi status sistem kepada pengguna. Sistem ini dirancang untuk menawarkan solusi dalam manajemen parkir, mengurangi kebutuhan akan intervensi manual, dan meningkatkan keamanan dengan memastikan bahwa hanya pengguna yang terdaftar yang dapat memasuki area parkir. Penggunaan metode *Eigenface* dalam proses pengenalan wajah menjamin tingkat akurasi yang tinggi dalam mengenali wajah pengguna dalam kondisi optimal. Adapun Pengujian Dengan Variasi Wajah Yang Berbeda yang telah dilakukan pada Tabel 1:

TABEL 1
PENGUJIAN DENGAN VARIASI WAJAH YANG BERBEDA

| No | Objek Wajah | Jarak | Keterangan | Akurasi | Waktu Deteksi |
|----|---|--------|------------|---------|---------------|
| 1. |  | 50 cm | Terdeteksi | 100% | 1523 ms |
| 2. |  | 120 cm | Terdeteksi | 100% | 1589 ms |
| 3. |  | 50 cm | Terdeteksi | 100% | 1539 ms |
| 4. |  | 120 cm | Terdeteksi | 100% | 1520 ms |
| 5. |  | 50 cm | Terdeteksi | 75% | 1653 ms |

| No | Objek Wajah | Jarak | Keterangan | Akurasi | Waktu Deteksi |
|-----|---|--------|------------------|------------------|------------------|
| 6. |  | 120 cm | Terdeteksi | 75% | 1729 ms |
| 7. |  | 50 cm | Terdeteksi | 100% | 1533 ms |
| 8. |  | 120 cm | Terdeteksi | 100% | 1600 ms |
| 9. |  | 120 cm | Terdeteksi | 100% | 1616 ms |
| 10. |  | 120 cm | Tidak Terdeteksi | Tidak Terdeteksi | Tidak Terdeteksi |
| 11. |  | 50 cm | Tidak Terdeteksi | Tidak Terdeteksi | Tidak Terdeteksi |

| No | Objek Wajah | Jarak | Keterangan | Akurasi | Waktu Deteksi |
|---|---|--------|------------------|------------------|------------------|
| 12. |  | 120 cm | Tidak Terdeteksi | Tidak Terdeteksi | Tidak Terdeteksi |
| 13. |  | 50 cm | Tidak Terdeteksi | Tidak Terdeteksi | Tidak Terdeteksi |
| 14. |  | 50 cm | Terdeteksi | 100% | 1560 ms |
| 15. |  | 120 cm | Terdeteksi | 100% | 1529 ms |
| 16. |  | 50 cm | Terdeteksi | 100% | 1567 ms |
| 17. |  | 120 cm | Terdeteksi | 100% | 1549 ms |
| Rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk mendeteksi: | | | | | 1577,46 ms |

Meskipun metode *Eigenface* menunjukkan kinerja baik dalam kondisi optimal, terdapat tantangan dalam deteksi wajah di kondisi pencahayaan buruk atau ketika wajah tidak menghadap langsung ke kamera, yang menyebabkan penurunan akurasi. Untuk contoh, rata-rata waktu deteksi wajah yang dihitung dari data yang diberikan adalah 1577,46 ms. Namun, ketika terjadi *backlight* atau cahaya kuat di belakang wajah, sistem seringkali gagal mendeteksi wajah dengan baik karena

kontras yang rendah antara wajah dan latar belakang. *Backlight* dapat membuat wajah tampak terlalu gelap atau kehilangan detail penting yang dibutuhkan untuk pengenalan. Untuk mengatasi hal ini, sistem dapat dilengkapi dengan lampu tambahan yang menyorot wajah dari depan dan penempatan kamera yang lebih strategis untuk mengurangi efek *backlight*. Peningkatan dalam preprocessing gambar, seperti penyesuaian kontras, peningkatan kualitas, dan normalisasi pencahayaan, juga diperlukan untuk memperbaiki kemampuan model dalam mengenali wajah dalam kondisi yang sulit. Pengembangan lebih lanjut dapat mencakup integrasi teknologi IoT untuk pemantauan parkir yang lebih efisien, termasuk sensor untuk memantau ketersediaan tempat parkir dan memberikan informasi *real-time* kepada pengguna. Selain itu, penambahan teknologi deteksi deepfake menggunakan algoritma CNN dapat meningkatkan keamanan dengan membedakan wajah asli dari manipulasi digital. Kesimpulannya, meskipun *Eigenface* efektif dalam kondisi ideal, tantangan dalam pencahayaan, *backlight*, dan sudut wajah memerlukan perhatian khusus agar sistem pengenalan wajah lebih handal dalam berbagai situasi.

F. Pengujian Black Box Testing

Hasil dalam pengujian *Black Box testing* adalah pertama, dalam pengenalan wajah, pengguna dengan wajah terdaftar, yaitu Andi, mencoba masuk dan sistem berhasil membuka palang parkir sambil menampilkan pesan "Terdeteksi" di Arduino, sesuai harapan. Sebaliknya, ketika pengguna dengan wajah tidak terdaftar, seperti Budi, mencoba masuk, sistem tidak membuka palang parkir dan menampilkan pesan "Wajah tidak dikenal (*unknown*)," yang juga sesuai harapan. Selanjutnya, dalam proses pendaftaran wajah, pengguna Putri mengisi nama dan menangkap gambar wajah, di mana sistem berhasil menyimpan data pengguna dan menampilkan pesan "Data berhasil disimpan." Namun, ketika mengisi nama dengan format yang salah, seperti @Putri123, sistem tetap menyimpan data dan menampilkan pesan yang sama, yang juga sesuai harapan. Pada fitur history, saat menampilkan riwayat pengguna yang masuk dan keluar, sistem menampilkan data deteksi saat file history dibuka, sesuai harapan. Namun, jika pengguna tidak membuka file history, sistem tidak menampilkan data deteksi, yang juga sesuai harapan. Sistem belum diuji dalam kondisi hujan atau wajah pengguna dalam keadaan basah, sehingga perlu dilakukan pengujian lebih lanjut untuk mengetahui apakah sistem masih dapat mengenali wajah dengan baik atau mengalami kendala dalam mendeteksi fitur wajah. Selain itu, pengujian bagi pengguna yang memakai kacamata juga perlu diperluas, terutama jika pengguna mengganti jenis atau model kacamata yang berbeda, seperti bingkai tebal, kaca berwarna, atau reflektif. Tes ini penting untuk memastikan apakah sistem tetap dapat mengenali wajah dengan akurasi tinggi dalam kondisi tersebut.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, sistem palang parkir otomatis berbasis pengenalan wajah menggunakan metode *Eigenface* telah berhasil diimplementasikan dengan baik, menunjukkan akurasi 100% dalam kondisi tertentu. Meskipun metode ini terbukti andal dalam mengenali wajah meski ada perbedaan pencahayaan dan sudut pandang, terdapat beberapa keterbatasan, seperti kesulitan dalam membedakan wajah yang mirip atau mengalami perubahan penampilan. Rata-rata waktu deteksi yang dihitung dari data yang diberikan adalah 1577,46 ms, yang menunjukkan kinerja sistem yang cukup cepat dalam pengenalan wajah. Namun, ketika terjadi *backlight*, sistem sering mengalami kesulitan dalam mendeteksi wajah dengan akurat karena kontras yang rendah antara wajah dan latar belakang, yang menyebabkan penurunan kinerja. *Backlight* dapat mengaburkan detail wajah yang diperlukan oleh metode *Eigenface* untuk melakukan pengenalan yang tepat. Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan untuk memperluas dataset pelatihan, meningkatkan kecepatan sistem, menambahkan pencahayaan yang memadai untuk mengurangi efek *backlight*, dan mengoptimalkan *preprocessing* gambar untuk mengatasi masalah pencahayaan buruk. Selain itu, diperlukan sosialisasi kepada pengguna untuk memastikan penggunaan yang tepat, serta pengujian lebih lanjut dalam berbagai kondisi untuk meningkatkan reliabilitas sistem dalam situasi dunia nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. M. Raharja, M. A. Fathansyah, and A. N. N. Chamim, "Vehicle Parking Security System with Face Recognition Detection Based on Eigenface Algorithm," *J. Robot. Control*, vol. 3, no. 1, pp. 78–85, 2022.
- [2] B. Nethravathi, S. S. Sinchana, and B. C. Anil, "Advanced face recognition based door unlock system using arduino," *Int. J. Recent Technol. Eng.*, vol. 8, no. 3, pp. 7844–7848, 2019.
- [3] S. L. Lin and J. Y. Wu, "Face recognition unlocking uses principal component analysis to control the vehicle door system," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2020, no. 1, pp. 0–8, 2021.
- [4] M. B. S. Divya and N. B. Prajwala, "Facial Expression Recognition by Calculating Euclidian Distance for Eigen Faces Using PCA," *Proc. 2018 IEEE Int. Conf. Commun. Signal Process. ICCSP 2018*, pp. 244–248, 2018.
- [5] R. Rosnelly, M. S. Simanjuntak, A. Clinton Sitepu, M. Azhari, S. Kosasi, and Husen, "Face Recognition Using Eigenface Algorithm on Laptop Camera," *2020 8th Int. Conf. Cyber IT Serv. Manag. CITSM 2020*, pp. 17–20, 2020.
- [6] A. Fau and F. T. Waruwu, "Detect the Similarity of Digital Images Using the Eigenface Method," *JURTEKSI (Jurnal Teknol. dan Sist. Informasi)*, vol. 7, no. 2, pp. 133–142, 2021.
- [7] N. Faruqi, M. A. Yousuf, and M. Fazlul Karim Patwary, "Automatic Examinee Validation System using Eigenfaces," *1st Int. Conf. Adv. Sci. Eng. Robot. Technol. 2019, ICASERT 2019*, vol. 2019, no. Icasert, pp. 1–7, 2019.
- [8] R. B. Pratama, "Penerapan Metode Eigenface Pada Sistem Parkir Berbasis Image Processing," *J. DISPROTEK*, vol. 9, pp. 86–96, 2019.
- [9] A. Jamhari, F. M. Wibowo, and W. A. Saputra, "Perancangan Sistem Pengenalan Wajah Secara Real-Time pada CCTV dengan Metode

- Eigenface,” *J. Informatics, Inf. Syst. Softw. Eng. Appl.*, vol. 2, no. 2, pp. 20–32, 2020.
- [10] Hernanda Agung Saputra, “Deteksi Dan Pengenalan Wajah Sebagai Pendukung Keamanan Menggunakan Algoritme Haar-Classfier Dan Eigenface Berbasis Raspberry Pi,” *Stud. Progr. Komputer, Tek. Inform. Jur. Tek. Komputer, Fak. Ilmu Brawijaya, Univ.*, vol. 3, no. 2, p. 106, 2018.
- [11] G. I. Hapsari, G. A. Mutiara, and H. Tarigan, “Face recognition smart cane using haar-like features and eigenfaces,” *Telkonnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 17, no. 2, pp. 973–980, 2019.
- [12] R. Khalimov, Z. Rakhimbayeva, A. Shokayev, B. Kamalov, and M. H. Ali, “Development of Intelligent Door Locking System Based on Face Recognition Technology,” *ICMAE 2020 - 2020 11th Int. Conf. Mech. Aerosp. Eng.*, pp. 244–248, 2020.
- [13] S. Qureshi, “Face Recognition (Image Processing) based Door Lock using OpenCV, Python and Arduino,” *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 6, pp. 1208–1214, 2020.
- [14] H. H. Prasad, “IOT Based Door Access Control Using Face Recognition,” *2018 3rd Int. Conf. Conver. Technol. I2CT 2018*, no. May, pp. 1222–1225, 2018.
- [15] G. A. Rama, F. Fauziah, and N. Nurhayati, “Perancangan Sistem Keamanan Brankas Menggunakan Pengenalan Wajah Berbasis Android,” *J. Media Inform. Budidarma*, vol. 4, no. 3, p. 635, 2020.
- [16] I. Simanjuntak, “Rancang Bangun Kunci Otomatis Sepeda Motor Berbasis Face Recognition Dengan Metode Eigenfaces OpenCV,” *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 8, no. 2, pp. 122–128, 2019.
- [17] T. Handayani, A. Basuki, Sudiana, and L. Dirgantara, “Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Berbasis Internet of Things (Iot),” *J. Limits*, vol. 20, no. 2, pp. 23–36, 2023.
- [18] A. Pratama, M. Fikri, A. Febriansyah, and Irwan, “Sistem Keamanan Brankas Berbasis Arduino Uno,” *Pros. Semin. Nas. Inov. Teknol. Terap.*, pp. 248–254, 2022.
- [19] Humaira, A. Maulana Ibrahim, and A. Alanda, “Sistem Keamanan Pintu Rumah Berbasis Face Recognition,” *JITSI J. Ilm. Teknol. Sist. Inf.*, vol. 3, no. 1, pp. 23–29, 2022.