

Implementasi Pengenalan Ekspresi Wajah dengan Menggunakan Metode Convolutional Neural Network dan OpenCV Berbasis Webcam

Raifvaldhy Jounias Luppus Melatisudra, Suharjanto Utomo*, Sri Sutjiningtyas, Hernawati

Fakultas Ilmu Komputer dan Informatika, Program Studi Teknik Informatika, Universitas Nurtanio, Bandung, Indonesia

Email: ¹melatisudra.unnur@gmail.com, ^{2,*}suharjanto.utomo@gmail.com, ³srisutjiningtyas70@gmail.com,

⁴hernawatifikasi@unnur.ac.id

Email Penulis Korespondensi: suharjanto.utomo@gmail.com

Submitted: 22/10/2024; Accepted: 30/11/2024; Published: 30/11/2024

Abstrak—Ekspresi wajah berperan penting sebagai bahasa non-verbal yang kaya akan informasi emosional, terutama dalam konteks psikologis. Tantangan utama dalam penelitian ini adalah memahami dan menganalisis ekspresi wajah yang kompleks, dimana hal tersebut sering kali sulit diinterpretasikan oleh psikolog. Implementasi pengenalan ekspresi wajah berbasis *webcam* memanfaatkan kemampuan komputer dalam mengenali emosi manusia secara visual, didukung oleh kecerdasan buatan dan *machine learning*. Metode *Convolutional Neural Network* (CNN) dan *OpenCV* digunakan untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan ekspresi wajah secara langsung. Model CNN dilatih menggunakan dataset dengan enam kelas ekspresi (senang, sedih, marah, terkejut, netral, takut), dengan empat lapisan konvolusi untuk klasifikasi multi-kelas. Implementasi pengenalan ekspresi wajah berhasil dilakukan, sistem ini menangkap gambar wajah dari *webcam*, mendeteksi wajah dalam *frame*, dan mengklasifikasikan ekspresi wajah secara langsung yang tampil pada jendela layar. Performansi pelatihan data terhadap model yang dilatih diukur menggunakan *Classification Accuracy* menunjukkan akurasi sebesar 72,34% pada *training accuracy* dan 60,54% pada *validation accuracy*. Sedangkan performansi sistem pengenalan ekspresi wajah dihitung menggunakan *Confusion Matrix* menghasilkan akurasi sebesar 70,55%. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa model berada pada tingkat parameter *Fair Classification* atau mampu mengklasifikasikan ekspresi wajah pada manusia dengan tingkat akurasi yang cukup baik, penelitian ini memiliki potensi besar untuk pengembangan aplikasi di bidang psikologi. Namun, optimasi lebih lanjut diperlukan dengan melibatkan para ahli untuk memastikan keefektifannya.

Kata Kunci: Ekspresi Wajah; *Convolutional Neural Network*; *OpenCV*; *Webcam*; *Classification Accuracy*; *Confusion Matrix*; Psikologi

Abstract—Facial expressions play an important role as a non-verbal language rich in emotional information, especially in psychological contexts. The main challenge in this research is to understand and analyse complex facial expressions, which are often difficult for psychologists to interpret. The implementation of webcam-based facial expression recognition leverages the computer's ability to visually recognise human emotions, supported by artificial intelligence and machine learning. Convolutional Neural Network (CNN) and OpenCV methods are used to detect and classify facial expressions directly. The CNN model is trained using a dataset with six expression classes (happy, sad, angry, surprised, neutral, afraid), with four convolution layers for multi-class classification. The implementation of facial expression recognition is successful, the system captures facial images from a webcam, detects faces in the frame, and classifies facial expressions directly on the screen window. The performance of training data against the trained model measured using Classification Accuracy shows an accuracy of 72.34% in training accuracy and 60.54% in validation accuracy. While the performance of the facial expression recognition system calculated using Confusion Matrix resulted in an accuracy of 70.55%. The calculation results show that the model is at the Fair Classification parameter level or able to classify facial expressions in humans with a fairly good level of accuracy, this research has great potential for application development in the field of psychology. However, further optimisation is needed by involving experts to ensure its effectiveness.

Keywords: Facial Expression; Convolutional Neural Network; OpenCV; Webcam; Classification Accuracy; Confusion Matrix, Psychology

1. PENDAHULUAN

Perkembangan *Artificial Intelligence* atau kecerdasan buatan saat ini semakin meningkat seiring dengan bertambahnya ketersediaan data untuk mendukung sistem-sistem berbasis kecerdasan buatan ini[1]. Di sisi lain, *Machine Learning* telah menjadi sebuah konsep yang mampu dipadukan dengan kecerdasan buatan dalam memberikan kemampuan pada komputer untuk mempelajari berbagai hal melalui data[2]. Implementasi pengenalan ekspresi wajah berbasis *webcam* didasarkan pada kemampuan komputer untuk memahami dan mengenali emosi manusia secara visual. Pengenalan ekspresi wajah telah menjadi topik yang menarik dalam bidang pengenalan pola dan pemrosesan citra[3].

Dalam dunia psikologi, ekspresi wajah memegang peran sentral sebagai bahasa non-verbal yang kaya akan informasi emosional[4]. Pengenalan dan pemahaman ekspresi wajah menjadi krusial dalam konteks psikologis, karena melalui ekspresi ini, manusia menyampaikan dan menginterpretasikan berbagai nuansa emosi. Psikolog sering kali dihadapkan pada kesulitan dalam membaca dan mengartikan nuansa ekspresi yang halus, terutama dalam konteks psikologi klinis dan penelitian perilaku manusia. Oleh karena itu, pengembangan teknologi yang dapat mendukung identifikasi ekspresi wajah secara langsung dapat memberikan kontribusi berharga dalam pemahaman psikologis terhadap perasaan dan reaksi emosional manusia. Kombinasi antara CNN

dan *OpenCV* dalam implementasi ini memungkinkan deteksi dan pengenalan ekspresi wajah secara langsung berbasis *webcam* secara multi-ekspresi. Dengan menggunakan implementasi ini, psikolog dapat melihat perubahan ekspresi wajah dalam waktu nyata. Melalui penelitian yang dilakukan diharapkan dapat mengatasi masalah psikologis yang melibatkan pemahaman ekspresi wajah dengan pendekatan teknologi inovatif.

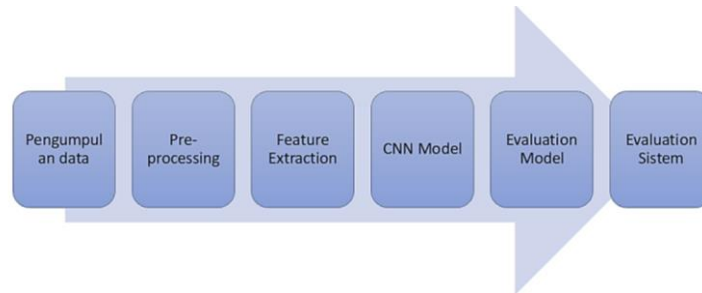
Penelitian sebelumnya oleh Adhiyasa Khoirul Muttaqin, Haris Yuana, Mukh Taofik Chulkamdi dengan judul “Implementasi Algoritma *Convolutional Neural Network* Untuk Pengenalan Ekspresi Wajah”, digunakan sebuah arsitektur model *Convolutional Neural Network* untuk membuat sebuah sistem prediksi pengenalan ekspresi wajah yang terdiri dari tiga lapisan konvolusi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model yang dilatih dengan optimasi *batch size* 32, dan augmentasi data mencapai akurasi yang baik, yaitu 70,16% untuk data pelatihan dan 64,43% untuk data validasi pada *epoch* ke-100. Program yang dibuat berhasil mengenali ekspresi wajah dengan baik dalam situasi *real-time* pada 20 partisipan dengan usia yang beragam[5]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Dimas Satyadi dengan judul “*Face Expression Detection Using CNN Methods*”, bertujuan untuk membuat sebuah aplikasi yang mampu mendeteksi ekspresi seseorang yang diutarakan melalui ekspresi wajahnya dengan metode CNN bertema *face-recognition* yang mampu mendeteksi ekspresi manusia dengan menggunakan metode tunggal CNN dengan 30 orang dalam datasetnya yang didapat dari internet. Hasil akurasi deteksi mencapai 73,33% dengan berbagai atribut gambar yang diuji dan berbagai situasi keadaan pencahayaan yang berbeda-beda[6]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Mirna Fauziah berjudul “Perancangan dan Implementasi Sistem Deteksi Pergerakan Kepala, Mata, dan Alis Berbasis *Machine Learning*”, berhasil menciptakan sistem deteksi pergerakan fitur wajah berupa kepala, mata dan alis dengan tema *liveness*, dengan menggunakan metode CNN dan *OpenCV* serta dataset yang dihimpun memiliki ribuan jumlah data wajah dengan berbagai karakteristik mimik wajah. Hasilnya sistem yang dibuat dapat berkerja dengan baik dalam kondisi terang dengan akurasi sebesar 94,48% dan dalam kondisi kurang terang tingkat akurasi sebesar 92,65%. Objek yang diuji pun berbeda-beda seperti penggunaan kacamata dan masker, untuk penggunaan kacamata tidak ditemukan kendala dalam proses deteksi namun penggunaan masker mempengaruhi proses deteksi yang dilakukan[7]. Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Pulung Adi Nugroho, Indah Fenriana, Rudy Arijanto, M.Kom yang berjudul “Implementasi *Deep Learning* Menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN) Pada Ekspresi Manusia”, pada penelitiannya CNN dirancang khusus untuk pengenalan dan klasifikasi gambar dengan beberapa lapisan (*layer*) yang mengekstrak informasi dari gambar dan menentukan klasifikasi dari gambar berupa skor klasifikasi. Selanjutnya dibuatlah sebuah aplikasi menggunakan bahasa pemrograman *python*, *web* berbasis *flask*, *tensorflow*, dan *opencv*. Tahapan keseluruhan metode yang digunakan adalah tahap pre-processing, dan tahap klasifikasi. Proses training dilakukan dengan menggunakan *batch size*, dan *epoch* yang berbeda-beda untuk mendapatkan model terbaik. Dataset terdiri dari ekspresi senang, sedih, takut, netral, marah, dan kaget. Jumlah dataset tidak sepenuhnya mempengaruhi nilai akurasi, tetapi kedetailan citra untuk digunakan dataset sangat mempengaruhi hasil akurasi. Dengan *Epoch* 100, *batch size* 128 didapatkan hasil akurasi *training* sebesar 90% dan *validation* sebesar 65%. Hasil percobaan dari total 35 ekspresi, 28 ekspresi berhasil ditebak dengan benar dengan mendapatkan akurasi sebesar 80%[8]. Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh Augyeris Lioga Seandrio, Awang Hendrianto Pratomo, Mangaras Yanu Florestiyanto dengan judul “*Implementation of Convolutional Neural Network (CNN) in Facial Expression Recognition*”, merancang sebuah sistem *prototype* untuk mengklasifikasi pengolahan berupa citra dengan tujuan membantu pengajar melakukan monitoring emosi siswa dengan menerapkan metode *Convolutional Neural Network* pada aplikasi, serta mengetahui akurasi dalam melakukan pengenalan ekspresi wajah. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dengan menggunakan 3589 data ekspresi dasar manusia mendapatkan nilai akurasi sebesar 70,46%. Pada penelitian ini emosi pada wajah diidentifikasi melalui citra yang diambil secara *real-time* menggunakan kamera dan dengan menerapkan metode *Convolutional Neural Network* dengan arsitektur *visual group geometry* (VGG) dengan 11, 13, 16 dan 19 lapisan yang akan menghasilkan probabilitas ekspresi dalam tujuh ekspresi dasar manusia beserta kategorinya [9].

Penggunaan metode *Convolutional Neural Network* dan *OpenCV* berbasis *webcam* ini dapat memberikan bantuan alat untuk mengamati dan merekam perubahan ekspresi wajah secara objektif untuk menggali lebih dalam mengenai ekspresi wajah manusia guna menyediakan data yang lebih kaya untuk proses analisis psikologis. Dengan menggabungkan aspek psikologis dan teknologi, penelitian ini dapat membuka jalan baru dengan menjadikan sistem pengenalan ekspresi wajah sebagai bahan pengembangan aplikasi nyata pada dunia psikologis dalam menganalisis dan menginterpretasikan ekspresi wajah manusia yang kompleks secara langsung berbasis teknologi inovatif.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian yang dilakukan menggunakan pemodelan *machine learning*, tahapan proses penelitian terlihat pada gambar 1 berikut:



Gambar 1. Tahapan Penelitian[10]

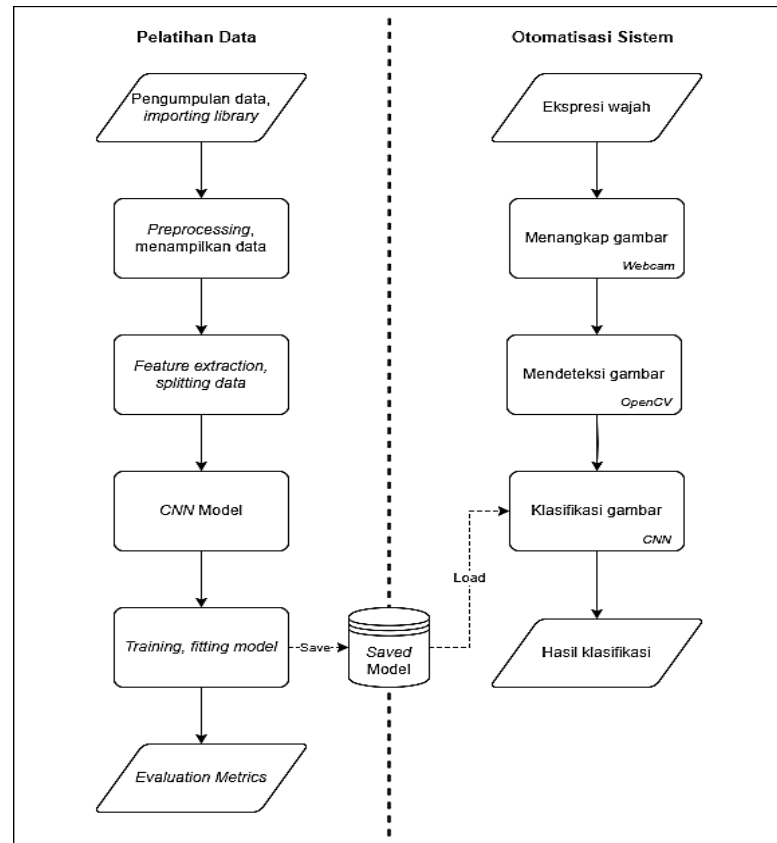
- a. **Pengumpulan Data:** Tahap ini adalah langkah pertama dan menjadi kunci dalam proses penelitian ini, peneliti mengumpulkan informasi yang diperlukan untuk keperluan penelitian. Tahap ini melibatkan perencanaan, pelaksanaan, dan analisis data berupa gambar ekspresi wajah manusia[11].
- b. **Preprocessing:** Tahap ini merupakan proses persiapan pada data gambar, yaitu merupakan langkah awal dalam analisis gambar yang bertujuan untuk membersihkan dan menyiapkan data agar siap digunakan dalam proses selanjutnya. Dalam tahap ini melibatkan teknik-teknik seperti *cropping*, *resizing*, konversi ke skala keabuan (*picture ratio*), pembersihan *noise* (*noise reduction*), normalisasi nilai piksel, dan augmentasi data. Tahap ini penting untuk meningkatkan kualitas data dan mempersiapkannya untuk penggunaan dalam model analisis gambar[12].
- c. **Feature Extraction:** Tahapan ini merupakan perlakuan pada data gambar, atau dengan kata lain tahapan ini adalah proses penting dalam analisis gambar yang bertujuan untuk mengekstraksi pola atau fitur penting dari data gambar. terdapat dua perlakuan yaitu *color mode* berupa *grayscale* dan *class mode* berupa *categorical*. Hasil dari tahap ini digunakan sebagai *input* untuk proses analisis selanjutnya, yaitu tahap pemodelan atau klasifikasi menggunakan teknik *machine learning*[13].
- d. **CNN Model:** Tahap pemodelan *Convolutional Neural Network* (CNN) pada data gambar yang dilakukan adalah langkah dalam analisis gambar dengan pendekatan *machine learning*. Pada tahap ini, CNN dibangun dengan menentukan arsitektur jaringan yang terdiri dari lapisan, konvolusi, pooling, dan lapisan terhubung sepenuhnya. Model CNN dilatih dengan menggunakan algoritma optimasi untuk menyesuaikan bobot dan meminimalkan kesalahan prediksi. Tujuan dari tahap ini adalah membangun model yang efektif untuk menangani berbagai tugas analisis gambar (pengenalan ekspresi wajah) dengan tingkat akurasi yang layak[14].
- e. **Evaluasi Model dengan Classification Accuracy:** Tahap evaluasi model menggunakan *classification accuracy* merupakan tahap evaluasi terhadap model baik saat proses pelatihan dan model final dihasilkan. Hal ini penting untuk memastikan model layak atau baik digunakan dalam menghasilkan prediksi klasifikasi ekspresi wajah terhadap berbagai kasus percobaan selanjutnya[15].
- f. **Evaluasi Sistem dengan Confusion Matrix:** Tahap evaluasi sistem menggunakan *confusion matrix* merupakan tahap akhir namun juga merupakan proses penting dalam mengevaluasi performa keseluruhan sistem pengenalan gambar (ekspresi wajah). Dalam penelitian ini, metrik evaluasi yang digunakan adalah untuk mengetahui sejauh mana akurasi sistem dapat menangani dengan mengenali berbagai ekspresi wajah, metrik yang digunakan yaitu metrik *accuracy*, digunakan untuk menarik kesimpulan seberapa sering model klasifikasi benar-benar betul dalam mengklasifikasikan kelas tertentu. Secara keseluruhan, proses ini membantu mengidentifikasi kelemahan sistem dan meningkatkan performa sistem untuk hasil yang lebih akurat dan dapat diandalkan dalam pengembangan aplikasi nyata[16].

2.2 Metode Pengembangan Sistem Berbasis Webcam

Sistem berbasis *webcam* adalah sistem yang menggunakan *webcam* atau sensor penglihatan sebagai komponen utama untuk melakukan pengumpulan data visual, pemrosesan, analisis, dan pengambilan keputusan[17]. Dalam konteks pengenalan ekspresi wajah, sistem berbasis *webcam* merujuk pada sistem yang menggunakan *webcam* sebagai *input* untuk mendeteksi dan mengenali ekspresi wajah manusia. Metode ini berkaitan dengan cara bagaimana sistem mengintegrasikan penggunaan *webcam* dengan teknologi lainnya untuk mencapai tujuan tertentu, seperti pengenalan objek, deteksi gerakan, dan pengenalan ekspresi wajah.

2.3 Metode Perancangan Sistem dengan Pemodelan Machine Learning

Perancangan sistem pada penelitian ini terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu pelatihan data dan otomatisasi sistem/program utama. Pada bagian pelatihan data, membahas proses pelatihan hingga pembuatan model *Convolutional Neural Network* (CNN) menggunakan dataset ekspresi wajah. Sedangkan, pada bagian otomatisasi sistem/program utama merupakan implementasi sistem dengan menggabungkan model yang telah dilatih dengan *OpenCV* untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan ekspresi wajah secara langsung melalui *webcam*. Berikut skema proses yang dilakukan dalam pelatihan data dan otomatisasi sistem:

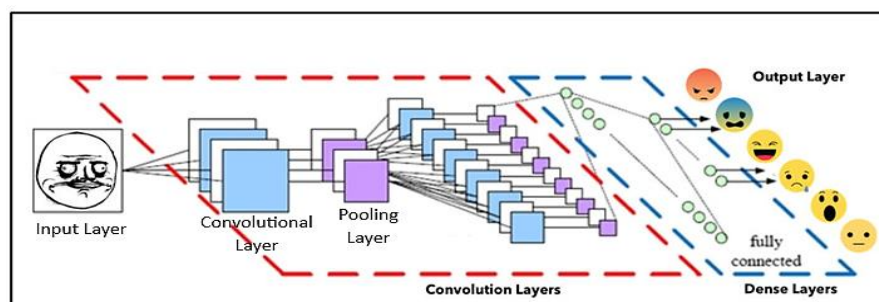


Gambar 2. Skema Pelatihan Data dan Otomatisasi Sistem

a. Pelatihan Data

Pelatihan data dalam pemodelan *machine learning*, merupakan proses di mana model dilatih menggunakan dataset pelatihan untuk mempelajari pola dan hubungan dalam data, sehingga dapat memprediksi *output* yang diinginkan dengan baik[18]. Tujuan utamanya adalah untuk menghasilkan model yang mampu mengenali pola dalam data dan membuat prediksi akurat pada data baru yang tidak pernah terlihat selama pelatihan[19].

1. **Pengumpulan Data dan Importing Library:** Pada penelitian ini diteliti enam kelas gambar ekspresi wajah manusia yaitu, senang, sedih, marah, terkejut, netral, dan takut. Selanjutnya dilakukan proses untuk mengimpor *library* yang diperlukan dengan berbagai fungsi yaitu untuk analisis dan visualisasi data serta modul atau *library machine learning* untuk membangun arsitektur CNN.
2. **Preprocessing dan Menampilkan Data:** Pada tahap ini dilakukan proses penyesuaian ukuran *input* hingga normalisasi gambar dan validasi kelengkapan data dengan menampilkan beberapa gambar pada dataset yang sudah dikumpulkan beserta kategori tertentu berdasarkan jumlah kelas yang ada dalam dataset.
3. **Feature Extraction dan Splitting Data:** Proses pada tahap ini, dilakukan augmentasi atau perlakuan pada data gambar dengan menerapkan mode gambar sesuai kebutuhan berdasarkan karakteristik gambar yang ada pada dataset yang bertujuan untuk menyesuaikan jenis mode gambar serta proses pembagian data untuk mempersiapkan data latih dan data validasi dalam pembuatan model.
4. **CNN Model:** Pada tahap ini, terdapat proses perancangan model yang bertujuan untuk membangun, mengkompilasi, dan melatih model *Convolutional Neural Network* (CNN) yang terdiri dari beberapa arsitektur lapisan, agar dapat mengenali dan mengklasifikasikan ekspresi wajah pada gambar. Berikut merupakan gambar arsitektur CNN pada penelitian ini:



Gambar 3. Arsitektur CNN

- a) *Input Layer*: Pada bagian ini merupakan proses untuk menentukan lapisan *input* untuk menerima citra gambar dengan ukuran yang sesuai. Proses ini dilakukan agar sistem dapat menerima data berupa gambar sebagai input dan memulai proses pengolahan data[20].
 - b) *Convolutional Layers*: Proses pada bagian ini adalah membangun beberapa lapisan konvolusi untuk mengekstrak fitur-fitur penting dari data citra/gambar yang telah di input-kan pada proses sebelumnya. Lapisan-lapisan ini berfungsi untuk mendeteksi pola dan fitur visual yang signifikan dalam citra/gambar[21].
 - c) *Pooling Layers*: Pada tahap ini dilakukan penyisipan lapisan *pooling* untuk memperkecil dimensi fitur dengan tetap menjaga informasi yang relevan. Ini membantu mengurangi kompleksitas komputasi dan mencegah *overfitting* maupun *underfitting*[22].
 - d) *Fully Connected Layers*: Proses dalam tahap ini yaitu menambahkan/mengekstrak lapisan-lapisan terhubung penuh untuk menghubungkan hasil dari lapisan sebelumnya ke lapisan klasifikasi akhir. Proses ini akan memungkinkan model untuk mempelajari pola yang lebih kompleks dalam fitur-fitur yang diekstrak sebelumnya[23].
 - e) *Output Layer*: Proses ini merupakan proses untuk menentukan lapisan *output* yang menghasilkan probabilitas ekspresi wajah yang dikenali, lapisan ini memberikan prediksi akhir tentang klasifikasi gambar[24].
5. *Training dan Fitting Model*: Proses pada tahap ini merupakan proses *building* model atau *training* data yang bertujuan untuk membuat model dengan optimasi terbaik lalu menyimpan model tersebut yang nantinya akan digunakan sebagai model klasifikasi pada sistem utama.
6. *Evaluation Metrics*: Merupakan proses untuk mengukur kinerja model *machine learning* dan memastikan kemampuannya agar dapat melakukan generalisasi pada data baru. Evaluasi dilakukan melalui dua tahap, pertama dengan *classification accuracy* yang digunakan untuk menilai persentase prediksi benar dari total prediksi model, memberikan gambaran awal performa model secara keseluruhan. Kedua, *confusion matrix* digunakan untuk mengevaluasi sistem secara lebih rinci dengan melihat distribusi prediksi benar dan salah. Kombinasi kedua evaluasi ini dilakukan untuk memastikan bahwa model memiliki performa yang baik dan layak digunakan pada sistem dengan memiliki kinerja yang optimal dan dapat diandalkan sesuai tujuan yang telah ditentukan.
- b. Otomatisasi Sistem / Program Utama
- Otomatisasi sistem atau disebut juga sebagai program utama dalam penelitian ini adalah program yang menghasilkan satu *page* berupa jendela halaman pada layar yang dirancang untuk pengguna berbasis *webcam* dengan menggabungkan model hasil pelatihan data sesuai dengan analisis kebutuhan dan alur kerja sistem yang merujuk pada kemampuan sistem untuk menjalankan seluruh proses pengenalan ekspresi wajah secara mandiri tanpa intervensi manual.
1. Menangkap Gambar: Pada bagian ini terdapat proses untuk menangkap gambar wajah secara langsung dengan elemen berupa *webcam*. *Webcam* difungsikan sebagai alat untuk mengambil gambar wajah dari pengguna atau objek yang berada di depannya. Gambar ini kemudian akan diproses lebih lanjut oleh sistem.
 2. Mendeteksi Gambar: Gambar yang telah ditangkap oleh *webcam* kemudian diproses menggunakan *OpenCV* untuk mendeteksi wajah dalam frame. *OpenCV* digunakan untuk mendeteksi lokasi wajah dalam *frame* gambar. Proses ini penting untuk memastikan hanya bagian wajah yang dianalisis untuk klasifikasi ekspresi.
 3. Klasifikasi Gambar: Setelah wajah dideteksi, gambar wajah tersebut dikirimkan untuk dilakukan proses klasifikasi ekspresi wajah menggunakan model CNN. Model tersebut merupakan model CNN yang telah dilatih sebelumnya pada tahap pelatihan data untuk menganalisis gambar wajah dan menentukan klasifikasi ekspresi wajah berdasarkan fitur-fitur yang telah dipelajari selama proses pelatihan.
 4. Hasil Klasifikasi: Hasil klasifikasi dari sistem pengenalan ekspresi wajah ditampilkan dalam bentuk teks atau indikator yang menunjukkan ekspresi wajah yang terdeteksi. Indikator tersebut secara langsung akan muncul pada jendela layar, tepatnya di bagian atas *frame* gambar wajah yang ditangkap oleh *webcam* dan secara otomatis memperbarui hasil klasifikasi sesuai dengan perubahan ekspresi wajah yang terdeteksi secara kontinu. Hasil klasifikasi yang ditampilkan tidak hanya memberikan informasi yang akurat dan cepat tetapi juga dirancang untuk bahan pengembangan aplikasi nyata dalam analisis psikologis atau interaksi manusia-mesin sesuai tujuan yang telah ditetapkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, hasil dari implementasi sistem pengenalan ekspresi wajah berbasis *webcam* akan dibahas secara detail. Proses yang dilakukan dimulai dari tahap awal, yaitu pengumpulan data berupa dataset yang digunakan untuk melatih model. Dataset yang dipilih meliputi gambar wajah dengan berbagai ekspresi yang berbeda, yaitu senang, sedih, marah, terkejut, netral, dan takut. Data tersebut kemudian dipersiapkan melalui proses

preprocessing, termasuk normalisasi, pengaturan ukuran gambar, dan augmentasi data untuk meningkatkan kualitas serta variasi dataset yang digunakan dalam pelatihan model. Setelah tahap *preprocessing* selesai, implementasi CNN dilakukan dengan merancang arsitektur model yang mencakup konfigurasi lapisan (*layer*) seperti lapisan konvolusi (*convolutional layers*), lapisan *pooling*, dan lapisan *fully connected layers*. Setiap *layer* ini dirancang untuk mengekstraksi fitur-fitur penting dari gambar wajah dan membantu dalam proses klasifikasi. Selain itu, parameter pelatihan, seperti *learning rate*, *batch size*, dan jumlah *epoch* juga diatur untuk memastikan model dapat belajar dengan optimal dari data yang ada.

Dalam program otomatisasi sistem, *OpenCV* digunakan sebagai alat utama untuk mendeteksi wajah secara langsung dari video *streaming* yang ditangkap oleh *webcam*. *OpenCV* melakukan proses deteksi wajah pada setiap *frame* video, dan wajah yang terdeteksi kemudian dikirim ke model CNN untuk diklasifikasikan berdasarkan ekspresi yang dikenali. Hasil klasifikasi kemudian ditampilkan dalam bentuk indikator teks yang menunjukkan jenis ekspresi yang terdeteksi. Pengujian performa model dilakukan dengan menggunakan *classification accuracy*, yang mengukur seberapa akurat model CNN dapat mengklasifikasikan ekspresi wajah dari dataset pelatihan dan validasi. Selain itu, *confusion matrix* digunakan untuk mengevaluasi performa keseluruhan sistem dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan ekspresi wajah. Dari hasil pengujian, akan ditemukan bahwa model CNN yang dilatih mampu mencapai akurasi yang cukup baik dalam mendeteksi berbagai ekspresi, meskipun masih ada ruang untuk peningkatan dalam hal menangani kondisi pencahayaan yang berbeda dan ekspresi yang lebih kompleks.

Secara keseluruhan, implementasi sistem ini menunjukkan hasil yang menjanjikan, dengan potensi besar untuk diterapkan dalam berbagai aplikasi, seperti analisis perilaku, interaksi manusia-komputer, atau bidang psikologi. Upaya lebih lanjut dapat dilakukan untuk meningkatkan performa sistem, termasuk penggunaan dataset yang lebih besar dan lebih beragam, serta optimasi arsitektur model CNN agar mampu mengenali ekspresi wajah dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dalam berbagai kondisi nyata.

3.1 Implementasi Pelatihan Data dan Otomatisasi Sistem

Untuk mencapai hasil akhir implementasi sistem pengenalan ekspresi wajah, pada penelitian ini terbagi menjadi dua bagian yaitu implementasi pelatihan data dan otomatisasi sistem. Bagian pelatihan data mencakup proses implementasi pelatihan dan pembuatan model *Convolutional Neural Network* (CNN). Selanjutnya, bagian otomatisasi sistem merupakan implementasi penggunaan model yang telah dilatih dengan *OpenCV* agar dapat mendeteksi dan mengklasifikasikan ekspresi wajah secara langsung melalui *webcam*.

3.1.1 Implementasi Pelatihan Data

Proses implementasi pelatihan data dengan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) dalam penelitian ini difokuskan pada pengenalan ekspresi wajah. Proses ini mencakup persiapan dan *preprocessing* dataset, konfigurasi arsitektur jaringan (termasuk jumlah *layer* dan *hyperparameters*), serta pelatihan dan evaluasi model untuk memastikan kinerja optimal. Tujuannya adalah menghasilkan model yang dapat mengenali dan mengklasifikasikan ekspresi wajah dengan akurasi tinggi, serta beroperasi secara efisien dalam sistem berbasis *webcam*. Bagian ini memberikan gambaran tentang penerapan CNN untuk mencapai hasil penelitian.

a. Pengumpulan Data dan *Importing Library*

Dataset yang dikumpulkan dalam penelitian ini terbagi menjadi tiga bagian utama, yaitu data latih (*training data*), data validasi (*validation data*), dan data uji (*testing data*). Setiap bagian dataset tersebut memiliki peran dan fungsi yang berbeda dalam proses pelatihan data dan evaluasi model. Data latih digunakan untuk melatih model, data validasi digunakan untuk mengukur performa model selama pelatihan guna menghindari *overfitting* maupun *underfitting*, sedangkan data uji digunakan untuk mengukur kinerja akhir model pada data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Berikut tabel rincian distribusi jumlah data dalam setiap bagian pada dataset:

Tabel 1. Distribusi Jumlah Dataset

Dataset	<i>Training Data</i>	<i>Validation Data</i>	<i>Testing Data</i>
Jumlah	28821	7066	6000

Subset dataset yang terbesar merupakan bagian data pelatihan (*training data*) sekitar $\pm 70\%$ dari total dataset, yang menunjukkan bahwa sebagian besar data digunakan untuk melatih model agar dapat mempelajari pola dan fitur ekspresi wajah secara efektif. Subset selanjutnya yaitu data validasi (*validation data*) sekitar $\pm 15\%$ dari total dataset, yang digunakan untuk menguji dan menyetel model selama proses pelatihan. Subset yang terakhir yaitu data uji (*testing data*) sekitar $\pm 15\%$ dari total dataset, yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja model setelah pelatihan selesai. Secara keseluruhan, pembagian dataset tersebut menunjukkan strategi yang umum dalam pemodelan *machine learning* untuk memastikan model terlatih dengan baik, divalidasi selama pelatihan, dan diuji secara objektif setelah pelatihan.

Selanjutnya proses *importing library* yang terdiri dari dua jenis, yaitu *library* analisis dan visualisasi data serta modul *keras* yang merupakan *library machine learning* untuk membangun arsitektur CNN dan mengoptimalkan model.

b. *Preprocessing* dan Menampilkan Data

Proses pada tahap ini merupakan penerapan parameter dasar pengalaman jalur untuk proses pengenalan ekspresi wajah dan menampilkan beberapa contoh gambar untuk mengecek validasi gambar beserta kategori ekspresi wajah tertentu dalam dataset.

c. *Feature Extraction* dan *Splitting Data*

Proses ini merupakan *extraction* dan *splitting* data yang bertujuan untuk mempersiapkan data latih dan data validasi untuk membuat model pengenalan ekspresi wajah. Data latih akan diacak untuk memastikan pelatihan yang efektif, sementara data validasi akan dimuat secara teratur untuk evaluasi model yang konsisten.

d. Arsitektur *Convolutional Neural Network*

Proses yang bertujuan untuk membangun, mengkompilasi, dan membuat model *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk pengenalan ekspresi wajah.

e. *Training* dan *Fitting Model*

Proses pada bagian ini adalah proses *building* model yang bertujuan untuk membuat model dengan optimasi terbaik (*fitting*) dan menyimpan model tersebut, mengontrol optimasi model dengan mengatur upaya menghentikan pelatihan lebih awal jika diperlukan dengan menyesuaikan *learning rate* selama proses *building* dilakukan.

f. Menampilkan *Evaluation Metrics*

Tahapan yang berfungsi untuk memvisualisasikan hasil pelatihan sekaligus evaluasi model CNN dengan menampilkan grafik *plot learning curve* untuk *classification accuracy* dan evaluasi sistem dengan *confusion matrix*.

3.1.2 Implementasi Otomatisasi Sistem

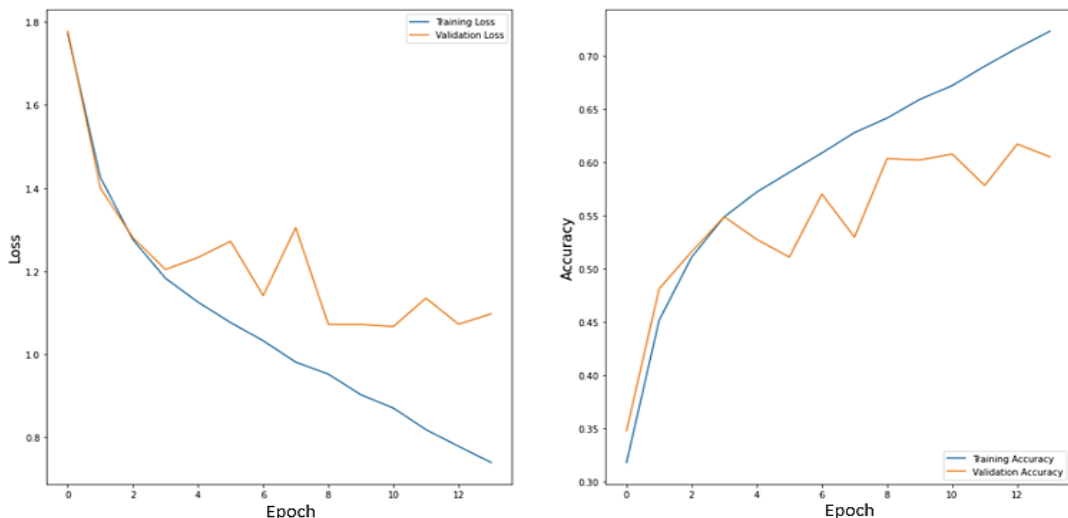
Proses implementasi otomatisasi sistem atau program utama dalam penelitian ini, fokus utamanya adalah mengintegrasikan model *Convolutional Neural Network* (CNN) yang telah dilatih ke dalam sistem berbasis *webcam* untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan ekspresi wajah secara langsung. Bagian ini mencakup langkah-langkah pengambilan gambar, deteksi gambar dan klasifikasi gambar untuk optimasi sistem otomatisasi dan kemudahan penggunaan.

3.2 Hasil Implementasi dan Pengujian

Berikut ini akan dijelaskan mengenai hasil implementasi sistem yang melibatkan pelatihan data dan otomatisasi sistem serta pengujian performa dari model *Convolutional Neural Network* (CNN) maupun pengujian performa sistem secara keseluruhan. Tahapan ini penting untuk memastikan bahwa model yang dirancang mampu berfungsi dengan baik pada sistem yang dikembangkan, baik dalam mengenali ekspresi wajah pada proses pelatihan maupun saat diterapkan pada otomatisasi sistem dalam sistem pengenalan ekspresi wajah berbasis *webcam*.

3.2.1 Hasil Pelatihan Data

Gambar berikut merupakan hasil implementasi pelatihan data untuk memastikan apakah model CNN yang dirancang dapat berfungsi sebagaimana mestinya untuk di implementasikan pada tahap otomatisasi sistem. Untuk mengetahuinya, dapat dilihat berdasarkan pada performa model yaitu dengan membandingkan antara *loss function* dan *accuracy function* pada grafik *plot learning curve* berikut:



Gambar 4. Grafik *Plot Learning Plot*

Menunjukkan dua grafik dalam *classification accuracy* untuk evaluasi model *machine learning* yang dalam hal ini yaitu model CNN untuk pengenalan ekspresi wajah. Grafik di sebelah kiri menampilkan *loss function* selama pelatihan terhadap data validasi, sementara grafik di sebelah kanan menampilkan *accuracy function* selama pelatihan terhadap data validasi, dimana sumbu (Y) merupakan nilai *loss/accuracy* dan sumbu (X) merupakan jumlah *epoch* yang pada penelitian ini *epoch* ke-14 merupakan *epoch* terbaik dengan nilai *training accuracy* sebesar 72,34% dan *validation accuracy* sebesar 60,54%.

Training loss (garis biru) terus menurun secara konsisten seiring bertambahnya *epoch*, hal tersebut menunjukkan bahwa model semakin baik dalam meminimalkan *error* pada data pelatihan. Sementara, *validation loss* (garis oren) berfluktuasi, namun secara umum menurun, menunjukkan bahwa model semakin baik dalam memprediksi data yang tidak terlihat. Dan, *training accuracy* (garis biru) terus meningkat seiring bertambahnya *epoch*, menunjukkan bahwa model semakin baik dalam memprediksi label yang benar pada data pelatihan. Sementara itu, *validation accuracy* (garis oren) meningkat, namun berfluktuasi, menunjukkan bahwa model menghadapi beberapa tantangan dalam generalisasi dari data pelatihan ke data validasi. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa grafik *plot learning curve* pada *classification accuracy*, menghasilkan model yang dapat belajar dengan baik pada data pelatihan, hal tersebut ditandai dengan penurunan konsisten pada *loss function* dan peningkatan pada *accuracy function*. Dengan kata lain, model yang dihasilkan memiliki performa yang baik selama pelatihan, dan sudah cukup untuk bisa dijadikan model pada sistem pengenalan ekspresi wajah.

3.2.2 Hasil Otomatisasi Sistem

Berikut merupakan hasil implementasi dari otomatisasi sistem atau program utama yang menampilkan jendela halaman pada layar dengan video *streaming* dari *webcam* dengan *input* ekspresi wajah manusia, terdapat *frame* yang memfokuskan deteksi ke area wajah dan di atasnya terdapat indikator teks hasil klasifikasi ekspresi wajah yang terdeteksi.



Gambar 5. Hasil Otomatisasi Sistem

Sistem ini berhasil mendeteksi dan mengklasifikasikan ekspresi wajah tersebut secara langsung pada tampilan layar. Hal tersebut menunjukkan bahwa model *Convolutional Neural Network* (CNN) yang telah dilatih berhasil mengenali dan menampilkan ekspresi wajah dari *input* video. Hasil atau *output* klasifikasi ekspresi wajah, seperti netral, marah, sedih, senang, takut, dan terkejut ditampilkan secara langsung pada layar bersama dengan video *streaming*. Hasil implementasi ini menunjukkan efektivitas dan akurasi sistem yang baik dalam mengidentifikasi ekspresi wajah dalam kondisi nyata, serta bagaimana algoritma CNN dapat diterapkan secara efektif untuk mengenali dan mengklasifikasikan ekspresi wajah secara akurat dalam berbagai konteks aplikasi nyata.

3.2.3 Pengujian Sistem

Berdasarkan proses pengujian dan percobaan pada implementasi otomatisasi sistem pengenalan ekspresi wajah yang dilakukan, dihasilkan tingkat keakuratan deteksi berupa data persentase akurasi dengan jumlah data uji 1000 data untuk masing-masing kelas ekspresi wajah atau artinya dengan total 6000 data uji. Berikut hasil perhitungan yang dilakukan dengan *confusion matrix*:

Tabel 2. Hasil *Confusion Matrix*

<i>Confusion Matrix</i>		<i>Predicted Class</i>					
		Marah	Takut	Senang	Netral	Sedih	Terkejut
<i>Actual Class</i>	Marah	629	34	12	9	18	98
	Takut	39	631	26	97	249	10
	Senang	87	56	825	10	2	27
	Netral	19	84	9	674	4	3
	Sedih	12	186	54	207	615	3
	Terkejut	214	9	74	3	112	859

Perhitungan *confusion matrix* yang dilakukan adalah sebagai berikut:

$$\text{Accuracy} = (629 + 631 + 825 + 674 + 615 + 859) / 6000 \times 100\% = 70,55$$

Dari perhitungan tersebut, didapatkan nilai akurasi sistem pengenalan ekspresi wajah pada manusia menggunakan metode yang digunakan sebesar 70,55%. Hasil yang didapatkan merupakan tingkat keakuratan terbaik pada pengujian yang dilakukan dan berada pada tingkat *fair classification* atau klasifikasi dengan cukup baik.

3.3 Pembahasan

Untuk memastikan bahwa sistem deteksi dan klasifikasi ekspresi wajah bekerja dengan baik dalam berbagai kondisi dan mampu memberikan hasil yang diharapkan secara akurat. Berikut merupakan pembahasan kinerja sistem berdasarkan proses pengujian sistem yang telah dilakukan, diantaranya:

- Sistem mampu mendeteksi wajah dan menangkap ekspresi wajah: sistem memiliki kemampuan deteksi wajah serta penangkapan ekspresi wajah dari *input* video. Hal tersebut sesuai dengan tujuan utamanya yaitu untuk memastikan bahwa sistem dapat mengidentifikasi keberadaan wajah dalam *frame* video dengan akurat, sehingga proses klasifikasi ekspresi wajah dapat dilakukan.
- Sistem mampu menampilkan *frame* gambar wajah yang diambil dari *webcam*: sistem dapat memeriksa dan menampilkan *frame* gambar yang mengandung wajah dari *input webcam*. Hal ini penting untuk memastikan bahwa pengguna dapat melihat area wajah yang sedang diproses oleh sistem.
- Sistem mampu melakukan penyesuaian gambar wajah secara otomatis: sistem berhasil untuk melakukan penyesuaian otomatis terhadap gambar wajah agar sesuai dengan format *input* yang diharapkan oleh model CNN untuk klasifikasi.
- Sistem mampu mengklasifikasi dan menampilkan ekspresi wajah yang dikenali dengan indikasi berupa teks: sistem berhasil memastikan bahwa sistem dapat memberikan *output* berupa klasifikasi ekspresi wajah yang dikenali, dan ditampilkan sebagai teks pada layar sesuai ekspresi wajah yang terdeteksi.
- Sistem mampu menampilkan pembaharuan secara langsung terhadap perubahan ekspresi wajah: sistem telah dapat memastikan bahwa setiap perubahan dalam ekspresi wajah dapat segera dikenali dan ditampilkan oleh sistem dengan memberikan respon yang cepat dan akurat.

Dengan demikian, sistem pengenalan ekspresi wajah berbasis *webcam* yang telah dikembangkan mampu bekerja dengan baik dalam mendeteksi wajah, mengklasifikasikan ekspresi, dan menampilkan hasil secara langsung. Pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa sistem memiliki kinerja yang cukup handal dalam mengenali ekspresi wajah di berbagai kondisi. Kemampuan sistem untuk melakukan penyesuaian otomatis pada gambar wajah serta respons cepat dalam menampilkan perubahan ekspresi wajah menjadi keunggulan yang penting dalam implementasi ini. Hasil ini menunjukkan potensi besar dari penerapan teknologi ataupun metode *Convolutional Neural Network* (CNN) dan *OpenCV* dalam pengembangan sistem yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti psikologi, interaksi manusia-mesin, atau monitoring emosi dalam waktu nyata. Optimalisasi lebih lanjut dapat dilakukan untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi sistem ini guna memenuhi kebutuhan yang lebih spesifik dalam aplikasi dunia nyata.

4. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, model CNN yang tepat berhasil dilatih menggunakan dataset berisi ribuan gambar ekspresi wajah yang diberi label sesuai enam kelas ekspresi wajah. Proses pelatihan mencakup pemilihan arsitektur model yang optimal dan penyesuaian parameter. Model terdiri dari empat lapisan konvolusi dengan filter yang meningkat untuk mengekstraksi fitur, diikuti oleh *max pooling* untuk mengurangi dimensi komputasi. Teknik augmentasi data, seperti *grayscale* dan *categorical* digunakan untuk meningkatkan generalisasi model. Pelatihan diakhiri dengan lapisan *output softmax activation* untuk klasifikasi multi-kelas. Implementasi pengenalan ekspresi wajah menggunakan *OpenCV* berbasis *webcam* berhasil dilakukan. Sistem ini menangkap gambar wajah dari *webcam*, mendeteksi wajah dalam *frame*, dan mengklasifikasikan ekspresi secara langsung. Hasil klasifikasi ditampilkan sebagai indikator teks pada jendela layar, dan secara kontinu dapat menampilkan pembaharuan klasifikasi ekspresi wajah sesuai ekspresi yang terdeteksi. Performansi model hasil pelatihan data yang diukur menggunakan *Classification Accuracy* menghasilkan akurasi sebesar 72,34% pada *training accuracy* dan 60,54% pada *validation accuracy*. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa performa yang baik selama pelatihan, dan sudah cukup untuk bisa dijadikan model pada sistem pengenalan ekspresi wajah. Performansi sistem pengenalan ekspresi wajah yang dihitung menggunakan *Confusion Matrix* menghasilkan akurasi sebesar 70,55%. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa model berada pada tingkat parameter *Fair Classification* atau mampu mengklasifikasikan ekspresi wajah pada manusia dengan tingkat akurasi yang cukup baik. Dengan demikian, sistem pengenalan ekspresi wajah yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki potensi besar untuk digunakan dalam pengembangan aplikasi nyata di bidang psikologi. Sistem ini dapat membantu dalam analisis dan interpretasi ekspresi wajah yang kompleks secara langsung, memberikan alat yang inovatif untuk para psikolog dalam memahami emosi pasien dan memonitor perubahan emosi secara

langsung. Implementasi teknologi ini dapat memperkaya metode analisis psikologis dengan data objektif yang dapat digunakan untuk mendukung diagnosis dan memberikan *insight* untuk penanganan yang tepat.

REFERENCES

- [1] S. Masrichah, "Ancaman dan Peluang Artificial Intelligence (AI)," *Jurnal Pendidikan dan Sosial Humaniora.*, vol. 3, pp. 83-101, 2023.
- [2] M. Farwati, I. T. Salsabila, K. R. Navira, and T. Sutabri, "Analisa Pengaruh Teknologi Artificial Intelligence (AI) dalam Kehidupan Sehari-hari," Universitas Darma Palembang., 2023.
- [3] D. M. Ulhaq, M. Zaidan, and D. Firdaus, "Pengenalan Ekspresi Wajah Secara Real-time Menggunakan Metode SSD Mobilenet Berbasis Android," *Journal of Technology and Informatics (JoTI).*, pp. 48-52, 2023.
- [4] Wikipedia. *Ekspresi Wajah*, Access Date July 2024, [Online]. Available: https://id.wikipedia.org/wiki/Ekspresi_wajah.
- [5] A. Muttaqin, H. Yuana, and M. Chulkamdi, "Implementasi Algoritma Convolutional Neural Network Untuk Pengenalan Ekspresi Wajah," *Jurnal Riset Sistem Informasi dan Teknik Informatika (JURASIK).*, pp. 772-792, 2023.
- [6] D. Setyadi, "Deteksi Ekspresi Wajah Menggunakan Metode CNN," 2022.
- [7] M. Fauziah, "Perancangan dan Implementasi Sistem Deteksi Gerakan Kepala, Mata, dan Alis Berbasis Machine Learning," Institut Teknologi Bandung., 2021.
- [8] A. N. Pulung, I. Fenriana, and R. Ariyanto, "Implementasi Deep Learning Menggunakan Convolutional Neural Network (CNN) pada Ekspresi Manusia," *Jurnal Algor.*, 2020.
- [9] S. A. Lioga, P. A. Hendrianto, and M. Florestiyanto, "Implementation of Convolutional Neural Network (CNN) in Facial Expression Recognition," *Jurnal Informatika dan Teknologi Informasi.*, pp. 211-221, 2021.
- [10] S. Li dan W. Deng, "Deep Facial Expression Recognition: A Survey," *IEEE Transactions on Affective Computing.*, vol. 13, no. 3, pp. 1195-1215, 2020.
- [11] Y. Wang, Y. Zhang, and S. Zhang, "Facial expression recognition: A comprehensive survey," *International Journal of Computer Applications.*, vol. 179, no. 1, pp. 1-6, 2018.
- [12] J. E. Widyaya and S. Budi, "Pengaruh Preprocessing Terhadap Klasifikasi Diabetic Retinopathy dengan Pendekatan Transfer Learning Convolutional Neural Network," *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi.*, vol. 7, no. 1, 2021.
- [13] R. Kumar, S. Agarwal, and A. Kumar, "Facial Expression Recognition: A Survey," *International Journal of Computer Applications.*, vol. 181, no. 20, pp. 18-24, 2019.
- [14] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Haffner, "Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition," *Proc. IEEE* vol. 86, no. 11, pp. 2278-2324, 1998.
- [15] M. A. Leonardi and A. Y. Chandra, "Analisis Perbandingan CNN dan Vision Transformer untuk Klasifikasi Biji Kopi Hasil Sangrai," *JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA.*, vol. 8, no. 3, pp. 1398-1307, 2024.
- [16] D. Anggara, N. Suarna, and Y. A. Wijaya, "ANALISA PERBANDINGAN PERFORMA OPTIMIZER ADAM, SGD, DAN RMSPROP PADA MODEL H5," *NERO (Networking Engineering Research Operation).*, vol. 8, no. 1, pp. 53-64, 2023.
- [17] D. Pazriyah, "Penggunaan Raspberry Pi Dalam Mendeteksi Warna Melalui Webcam," Politeknik Negeri Sriwijaya, 2017.
- [18] D. Leni, "Pemodelan Machine Learning untuk Memprediksi Tensile Strength Aluminium Menggunakan Algoritma Artificial Neural Network (ANN)," *Jurnal Surya Teknika.*, vol. 10, no. 1, pp. 625-632, 2023.
- [19] R. S. Irawan, "APLIKASI PERANGKAT BERGERAK PENGKLASIFIKASI KESEGERAN DAGING MENGGUNAKAN METODE CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN) DENGAN ARSITEKTUR MOBILENETV2," *Sekolah Tinggi Informatika & Komputer Indonesia.*, 2024.
- [20] M. Zufar and B. Setiyono, "Convolutional Neural Networks untuk Pengenalan Wajah Secara Real-Time," *Jurnal Sains dan Seni ITS.*, vol. 5, no. 2, pp. 128-862, 2016.
- [21] N. Ketkar, J. Moolayil, "Convolutional Neural Networks," in *Deep Learning with Python: Learn Best Practices of Deep Learning Models with PyTorch.*, pp. 197-242, 2021.
- [22] M. Sun, Z. Song, X. Jiang, J. Pan, and Y. Pang, "Learning Pooling for Convolutional Neural Network," *Neurocomputing.*, vol. 224, pp. 96-104, 2017.
- [23] S. S. Basha, S. R. Dubey, V. Pulabaigari, and S. Mukherjee, "Impact of Fully Connected Layers on Performance of Convolutional Neural Networks for Image Classification," *Neurocomputing.*, vol. 378, pp. 112-119, 2020.
- [24] D. Sinaga, "Jaringan Saraf Tiruan Infeksi Mata Dengan Menggunakan Metode Berarsitektur Multi Layer Perceptron," *Informasi dan Teknologi Ilmiah (INTI).*, vol. 7, no. 2, pp. 189-192, 2020.