
DETEKSI POLA WAJAH OTOMATIS DALAM PENGOLAHAN CITRA DIGITAL MENGGUNAKAN METODE HAARCASCADE CLASSIFIER

Laila Ali Putri¹, Lailan Sofinah Harahap², Maria Ulfa³

^{1,2,3} Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara
Jl. Lapangan Golf, Desa Durian Jangak, Pancur Baru, Deli Serdang, Sumatera Utara, Indonesia
Email : ¹lailap774@gmail.com, ²lailansofinahharahap@gmail.com, ³mulfa7903@gmail.com

ABSTRAK

Deteksi wajah merupakan salah satu topik yang banyak diteliti dalam bidang visi komputer dan pengolahan citra digital. Metode Haar Cascade adalah salah satu metode yang sering digunakan untuk mendeteksi wajah pada suatu citra atau video. Metode ini menggunakan fitur Haar untuk mengidentifikasi wajah dengan cara membandingkannya dengan wajah yang ada pada database. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan metode Haar Cascade untuk mendeteksi wajah menggunakan library OpenCV. Tahapan yang dilakukan meliputi akuisisi citra, pemrosesan citra, deteksi wajah menggunakan Haar Cascade, dan evaluasi hasil deteksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Haar Cascade dapat mendeteksi wajah dengan cukup baik dalam berbagai kondisi pencahayaan dan sudut pandang.

Kata Kunci : Deteksi Wajah; Haar Cascade; OpenCV

ABSTRACT

Abstract Face detection is one of the most researched topics in the field of computer vision and digital image processing. The Haar Cascade method is one method that is often used to detect faces in an image or video. This method uses Haar features to identify faces by comparing them with existing faces in the database. This research aims to implement the Haar Cascade method to detect faces using the OpenCV library. The stages include image acquisition, image processing, face detection using Haar Cascade, and evaluation of detection results. The results show that the Haar Cascade method can detect faces quite well in various lighting conditions and viewing angles.

Keyword : Face Detection; Haar Cascade; OpenCV

I. PENDAHULUAN

Saat ini telah banyak berkembang sistem yang memanfaatkan fitur deteksi wajah diantaranya yaitu sistem akses keamanan maupun sistem kontrol. Deteksi wajah sendiri dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya menggunakan metode *Haarcascade Classifier*[1]. Tentang deteksi citra wajah manusia berdasarkan variasi posisi wajah. variasi posisi wajah yang dimaksud pada penelitian ini adalah sudut kemiringan wajah dan jarak wajah manusia terhadap camera yang digunakan sebagai alat input *capture image* untuk diproses selanjutnya. Algoritma *Haar Cascade Classifier* adalah salah satu algoritma yang digunakan untuk mendeteksi sebuah wajah. Algoritma tersebut mampu mendeteksi dengan cepat dan *realtime* sebuah benda termasuk wajah manusia [2]. Berbagai penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa *Haar Cascade Classifier* mampu mendeteksi wajah dengan tingkat akurasi yang tinggi dan waktu pemrosesan yang singkat. Penggunaannya yang luas dalam berbagai platform pengolahan citra, termasuk MATLAB, menjadikan metode ini sebagai salah satu pendekatan yang andal dalam implementasi sistem deteksi wajah otomatis.

Namun, meskipun algoritma ini telah teruji secara teori dan praktik, implementasinya pada lingkungan MATLAB masih memerlukan optimalisasi dalam hal konfigurasi parameter, kondisi pencahayaan, dan variasi ekspresi wajah agar hasil deteksi lebih stabil dan adaptif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi pola wajah secara otomatis menggunakan metode *Haar Cascade Classifier* dalam lingkungan MATLAB, dengan fokus pada peningkatan efisiensi dan akurasi deteksi pada berbagai kondisi citra [3].

Walaupun telah banyak dilakukan pengembangan pada deteksi dan pengenalan citra wajah namun hasilnya masih jauh dari kesempurnaan, terlebih sedikit yang membahas tentang pola deteksi pada wajah [4].

Pengenalan wajah adalah tugas yang mudah dan langsung bagi manusia, tetapi tampaknya tantangan untuk sistem komputasi karena beberapa variabel lingkungan untuk posisi dan jaraknya dari kamera, kondisi pencahayaan dan bayangan pada wajah, dan beberapa aspek individu, seperti janggut dan gaya rambut [5]. Namun, beberapa individu fitur wajah hampir tidak berubah terlepas dari lingkungan, dan pengenalan wajah dilakukan dengan menganalisis pola yang ditemukan. Seperti sistem komputasi lainnya, sistem pengenalan wajah dikembangkan untuk mempercepat pelaksanaan tugas yang dapat dilakukan oleh manusia, dengan manfaat yang lebih tinggi kinerja mesin saat menjalankan tugas berulang yang membutuhkan perhatian dan kesabaran[6].

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini tergolong ke dalam penelitian terapan kuantitatif menggunakan metode *OPENCV (FACE DETECTION WITH HAAR CASCADE METHOD USING OPENCV)*. Penelitian terapan dengan pendekatan digunakan karena bertujuan untuk menghasilkan suatu prototipe atau model yang dapat diimplementasikan dalam dunia nyata (Rifki et al., 2021). Sedangkan pendekatan kuantitatif dipilih karena data yang digunakan berupa angka hasil pengukuran dan pengujian. Penelitian ini akan dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu:

1. STUDI LITERATUR

Tahap pertama ini dilakukan untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam tentang teknologi pengenalan wajah, khususnya metode *Haar Cascade* dan perpustakaan *OpenCV*. Sumber yang diteliti mencakup artikel ilmiah, buku ajar, dokumentasi resmi *OpenCV*, serta penelitian sebelumnya yang relevan. Tujuannya adalah untuk menetapkan dasar teori yang kokoh dalam mendukung perancangan sistem.

2. DETEKSI WAJAH

Deteksi wajah merupakan salah satu bidang dalam visi komputer yang memiliki tujuan untuk mengidentifikasi dan menemukan lokasi wajah manusia dalam suatu citra digital atau video. (Rifki et al., 2021) Proses deteksi wajah ini dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai macam metode, salah satunya adalah metode *Haar Cascade*.

Principal Component Analysis (PCA) adalah salah satu metode berbasis penampikan yang populer digunakan untuk mereduksi dimensi dari sekumpulan atau ruang citra sehingga basis atau koordinat yang baru dapat menggambarkan model yang khas dari kumpulan tersebut. Identifikasi biometrik dengan mengimplementasikan metode *haar cascade* dan algoritma PCA yang dilakukan berhasil mengintegrasikan pendeteksian dan pengenalan wajah ke dalam sistem kehadiran.

3. PENERAPAN OPEN CV

OpenCV merupakan *library open source* yang berfokus pada visi komputer dan *machine learning*. Dikembangkan oleh Intel pada tahun 2000, *OpenCV* bertujuan untuk menyediakan infrastruktur yang kuat untuk berbagai aplikasi seperti pengolahan citra, pelacakan objek, pengenalan wajah, dan analisis video. Pustaka ini ditulis dalam bahasa C++ dengan antarmuka yang tersedia untuk berbagai bahasa pemrograman MATLAB.

Fungsi Utama *OpenCV*

- Pengolahan Citra *OpenCV* memiliki kemampuan untuk melakukan berbagai operasi pengolahan citra

seperti konversi warna, deteksi tepi, segmentasi, dan transformasi geometris. Contohnya adalah menggunakan metode seperti *Canny Edge Detection* untuk mendeteksi tepi atau *Hough Transform* untuk deteksi garis

- Analisis Video Dalam pengolahan video, *OpenCV* mendukung pembacaan, penulisan, dan pemrosesan aliran video secara real-time.

1) PENGUMPULAN DATA

Data Penelitian Pada penelitian ini data citra wajah diakuisisi dengan menggunakan kamera. Data yang digunakan merupakan citra RGB dengan format jpg. Data diperoleh dengan cara mengakuisisi citra terhadap mahasiswa UINSU. Data kemudian dibagi menjadi dua bagian yaitu sebagai data latih dan data uji. Alur Penelitian Penelitian pengenalan

2) IMPLEMENTASI HAAR CASCADE

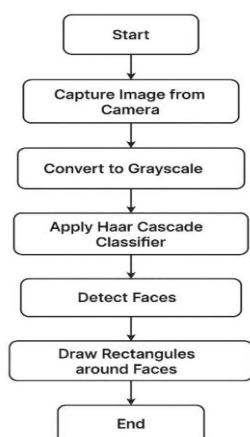
Sistem ini dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman Matlab serta pustaka *OpenCV*. Pelaksanaan terdiri dari memuat model *Haar Cascade*, memproses gambar dari *input* kamera atau webcam, dan memberi tanda (*bounding box*) pada wajah yang teridentifikasi. Langkah ini juga meliputi penyiapan lingkungan kerja seperti instalasi pustaka dan pengaturan sistem.

3) PENGUJIAN DAN EVALUASI

Pengujian dilakukan dengan berbagai macam situasi dan kondisi cahaya untuk mengukur ketepatan dalam mendeteksi wajah. Hasil dari pengujian dibandingkan dengan data kebenaran asli untuk mendapatkan nilai presisi, recall, dan akurasi.

4) ANALISIS AKHIR

Pada fase terakhir, akan dilakukan evaluasi terhadap hasil pengujian yang didapatkan untuk memahami keberhasilan dan kekurangan dari sistem pengenalan wajah yang memakai *Haar Cascade*.



Gambar 1 Tahapan Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. HASIL

Implementasi dengan matlab

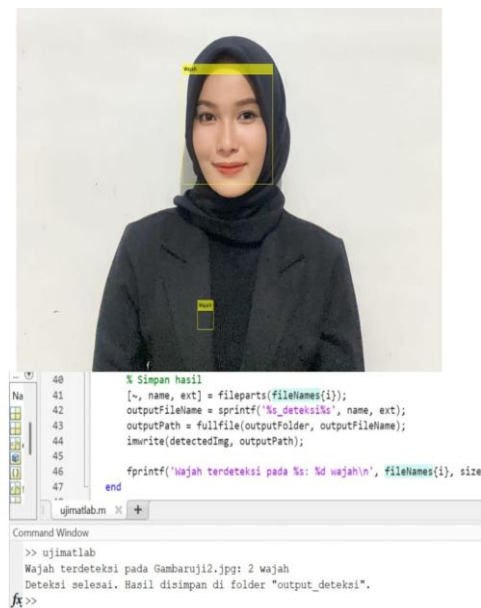
Penelitian ini menghasilkan sebuah prototipe sistem pengenalan dua wajah mahasiswa UINSU dalam bidang pengolahan citra digital sebagai bagian dari uji klasifikasi. Namun, pada tahap pengujian ini dijelaskan hasil klasifikasi sebagai berikut :



Gambar 2. Hasil pengujian deteksi dengan matlab pada mahasiswa UINSU 1

Penjelasan :

Pada gambar ini telah dilakukan hasil uji deteksi hanya 1 kali pada mahasiswa UINSU 1, bahwa percobaan tersebut telah berhasil dilakukan yang tersimpan dalam suatu folder yaitu *output_deteksi*. Pada penelitian ini, menggunakan metode *Haar Cascade Classifier* pada platform MATLAB dengan mengambil citra mahasiswa UINSU 1 sebagai objek pengujian. Proses deteksi dilakukan sebanyak satu kali dan menunjukkan hasil yang berhasil, di mana wajah pada citra berhasil dikenali dan dibingkai secara tepat oleh sistem. Metode *Haar Cascade* yang digunakan terbukti mampu mengenali pola wajah dengan mengandalkan fitur-fitur sederhana berbasis intensitas piksel melalui teknik *integral image*, sehingga memungkinkan proses deteksi berlangsung dengan cepat dan efisien meskipun dilakukan pada perangkat dengan spesifikasi standar. Hasil dari proses deteksi ini secara otomatis disimpan ke dalam direktori bernama *output_deteksi*, yang berfungsi sebagai repositori untuk menyimpan semua citra yang telah diproses. Pengujian ini menjadi langkah awal yang penting dalam pengembangan sistem deteksi wajah berbasis MATLAB, karena memberikan gambaran mengenai kemampuan awal sistem dalam mengidentifikasi wajah secara otomatis dan dapat dijadikan dasar untuk pengujian lebih lanjut dengan jumlah data dan variasi kondisi citra yang lebih kompleks.



Gambar 3. Hasil pengujian deteksi dengan matlab pada mahasiswa UINSU 2

Penjelasan :

Pada penelitian ini juga sama seperti mahasiswa UINSU 1, telah dilakukan uji deteksi wajah menggunakan metode *Haar Cascade Classifier* pada platform MATLAB dengan mengambil citra mahasiswa UINSU 2 sebagai objek pengujian. Proses deteksi dilakukan sebanyak satu kali dan menunjukkan hasil yang berhasil, di mana wajah pada citra berhasil dikenali dan dibingkai secara akurat oleh sistem. Metode *Haar Cascade* yang diterapkan terbukti mampu mengenali pola wajah dengan mengandalkan fitur-fitur sederhana berbasis intensitas piksel melalui teknik integral *image*, sehingga memungkinkan proses deteksi berlangsung secara cepat dan efisien meskipun dijalankan pada perangkat dengan spesifikasi standar. Hasil dari proses deteksi ini secara otomatis disimpan ke dalam direktori bernama `output_deteksi`, yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan citra-citra yang telah diproses. Pengujian ini menjadi tahapan awal yang penting dalam pengembangan sistem deteksi wajah berbasis MATLAB, karena memberikan indikasi mengenai kemampuan awal sistem dalam mengidentifikasi wajah secara otomatis dan dapat dijadikan acuan untuk pengujian lebih lanjut. Selain itu, sistem juga menunjukkan stabilitas dalam mendeteksi wajah meskipun hanya dilakukan sekali tanpa pelatihan tambahan. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi awal dari algoritma *Haar Cascade* sudah cukup optimal untuk mendeteksi pola wajah sederhana dalam kondisi pencahayaan yang standar. Proses ini menunjukkan potensi besar metode ini dalam aplikasi deteksi wajah otomatis yang membutuhkan kecepatan dan efisiensi, khususnya untuk kebutuhan awal pengujian atau

prototipe sistem. Keberhasilan ini menjadi dasar untuk pengembangan lebih lanjut, termasuk pengujian pada berbagai variasi ekspresi, sudut pandang, dan pencahayaan guna mengevaluasi konsistensi kinerja algoritma.

Mengubah Ukuran Gambar



Gambar 4. Hasil uji *resize* 640 x 480 dengan matlab pada mahasiswa UINSU 1

Penjelasan :

Hasil uji *resize* citra dengan resolusi 640 x 480 menggunakan MATLAB dengan 1 kali pengujian pada citra mahasiswa UINSU 1, menunjukkan bahwa proses perubahan ukuran citra berjalan dengan baik tanpa mengurangi kualitas visual secara signifikan. Proses *resize* ini dilakukan sebagai tahap pra-proses dalam sistem deteksi wajah untuk menyesuaikan dimensi citra dengan kebutuhan algoritma *Haar Cascade Classifier*, yang bekerja lebih optimal pada ukuran citra yang seragam dan tidak terlalu besar. Dengan ukuran 640 x 480, sistem mampu melakukan deteksi wajah dengan lebih cepat dan efisien karena beban komputasi yang lebih ringan, namun tetap mempertahankan detail penting pada area wajah. Hasil citra yang telah di *resize* kemudian digunakan dalam proses deteksi dan disimpan dalam direktori khusus sebagai dokumentasi hasil pra-proses



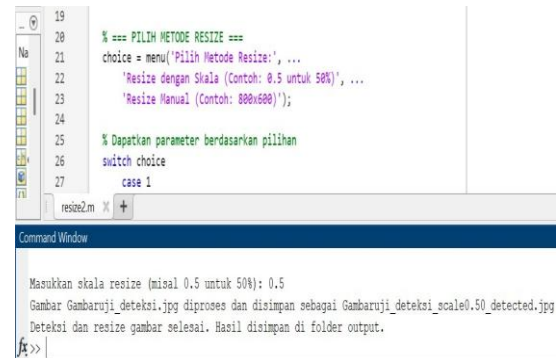
Gambar 5. Hasil uji *resize* 640 x 480 dengan matlab pada mahasiswa UINSU 2

Penjelasan :

Hasil uji *resize* citra dengan resolusi 640 x 480 menggunakan MATLAB dengan 1 kali pengujian pada citra mahasiswa UINSU 2 tetap sama pada mahasiswa UINSU 1, menunjukkan bahwa proses perubahan ukuran citra berjalan dengan baik tanpa mengurangi kualitas visual secara signifikan. Proses *resize* ini dilakukan sebagai tahap praproses dalam sistem deteksi wajah untuk menyesuaikan dimensi citra dengan kebutuhan algoritma *Haar Cascade Classifier*, yang bekerja lebih optimal pada ukuran citra yang seragam dan tidak terlalu besar.



Gambar 6. Hasil uji manual 0.5 dengan matlab pada mahasiswa UINSU 1



Gambar 7. Output uji manual 0.5 dengan matlab

Penjelasan :

Hasil uji skala manual sebesar 0.5 pada citra mahasiswa UINSU 1 menggunakan MATLAB menunjukkan bahwa proses penskalaan citra berhasil dilakukan dengan baik, di mana ukuran citra dikurangi menjadi setengah dari ukuran aslinya. Penskalaan ini dilakukan secara manual untuk menguji bagaimana sistem mendeteksi wajah pada citra berukuran lebih kecil. Dengan pengurangan skala ini, ukuran *file* menjadi lebih ringan dan proses komputasi menjadi lebih cepat, meskipun terdapat sedikit penurunan pada tingkat ketajaman detail citra. Meskipun demikian, sistem deteksi wajah yang diterapkan masih mampu mengenali pola wajah dengan cukup baik, menunjukkan bahwa metode *Haar Cascade Classifier* tetap dapat bekerja secara efektif meskipun citra mengalami perubahan skala.



Gambar 8. Uji manual 600x600 dengan matlab pada mahasiswa UINSU 2

Penjelasan :

Hasil uji skala manual sebesar 0.5 pada citra mahasiswa UINSU 2 dengan 1 kali pengujian juga sama seperti sebelumnya dan menggunakan MATLAB menunjukkan bahwa citra berhasil diperkecil hingga

setengah dari ukuran aslinya tanpa menghilangkan bentuk wajah secara keseluruhan. Proses penskalaan ini bertujuan untuk mengamati performa sistem deteksi wajah pada citra dengan resolusi lebih rendah. Meskipun terjadi sedikit penurunan pada detail visual, sistem berbasis *Haar Cascade Classifier* tetap mampu mendeteksi wajah secara akurat. Pengecilan ukuran ini juga mempercepat proses komputasi dan menunjukkan efisiensi dalam pemrosesan citra berskala kecil. Hasil akhir dari pengujian ini disimpan sebagai arsip pada direktori khusus dan menjadi bagian dari evaluasi efektivitas sistem terhadap variasi ukuran *input* citra.

Uraian Proses

1. Persiapan Dataset Pelatihan
 - **Ekstraksi Fitur Haar:** Metode *Haar Cascade* memanfaatkan fitur Haar, yaitu pola sederhana yang didasarkan pada perbedaan intensitas piksel, seperti kontras antara area terang dan gelap di bagian wajah, contohnya di sekitar mata, hidung, dan mulut.
 - **Pelatihan dengan Metode Cascade:** Untuk mendeteksi wajah, model yang dilatih menggunakan dataset besar berisi gambar positif (yang memiliki wajah) dan gambar negatif (tanpa wajah) diimplementasikan. Algoritma boosting diadopsi untuk memilih fitur Haar yang paling penting dari sekumpulan fitur yang ada.
2. Pemrosesan Awal pada Gambar
 - **Konversi ke Grayscale:** Gambar diubah menjadi format *grayscale* untuk menyederhanakan data dan mempercepat proses deteksi wajah.
 - **Normalisasi Citra :** Normalisasi diterapkan untuk mengurangi dampak variasi pencahayaan sehingga deteksi wajah menjadi lebih stabil dan tepat.
3. Penerapan *Classifier Cascade*
 - **Metode Sliding Window:** Sistem ini mendeteksi wajah dengan menggulirkan jendela persegi panjang kecil di seluruh gambar, mengecek keberadaan fitur Haar pada setiap posisi dan ukuran jendela.
 - **Tahapan Bertingkat (Cascade):** Pendekatan ini dikerjakan secara bertahap. Di tahap pertama, area yang tampaknya bukan wajah diabaikan. Pada tahap-tahap selanjutnya, hanya wilayah yang berpotensi dianalisis lebih mendalam.
4. Deteksi dan Identifikasi Wajah
 - **Pengenalan Area Wajah:** Jika suatu wilayah berhasil melewati semua prosedur analisis, daerah tersebut diidentifikasi sebagai wajah.

- **Deteksi Multi-Wajah:** Algoritma ini mampu mendeteksi beberapa wajah dalam satu gambar dengan memproses area dalam berbagai skala.

5. Pasca-Pemrosesan

- **Penandaan Wajah:** Setelah wajah berhasil terdeteksi, area tersebut akan diberi penanda berupa kotak persegi panjang.
- **Penyaringan Tambahan:** Untuk meningkatkan akurasi dan mengurangi kesalahan, dilakukan penyaringan lebih lanjut berdasarkan ukuran atau rasio wajah yang wajar.

B. PEMBAHASAN

1. Pengujian Deteksi

Dalam dunia pengolahan citra digital, deteksi wajah adalah salah satu penerapan utama yang bertujuan untuk mengenali dan menandai kehadiran wajah manusia dalam suatu gambar. Program MATLAB yang Anda gunakan mengimplementasikan metode *Haar Cascade Classifier* melalui fungsi *vision.CascadeObjectDetector*, yang memungkinkan sistem menjalankan deteksi wajah secara otomatis. Proses ini sangat signifikan dalam berbagai area, termasuk sistem keamanan yang berbasis pengenalan wajah, interaksi antara manusia dan komputer, serta sistem klasifikasi ekspresi wajah.

Program dimulai dengan pemilihan manual dua gambar oleh 2 mahasiswa UINSU melalui antarmuka *uigetfile*, yang memberikan fleksibilitas untuk menentukan gambar yang akan diuji. Setelah gambar terpilih, sistem akan membaca citra tersebut, memprosesnya, dan kemudian menerapkan algoritma untuk mendeteksi wajah. Dalam tahap ini, algoritma akan mencari pola-pola yang mirip dengan wajah manusia berdasarkan ciri-ciri khas seperti bentuk mata, hidung, dan kontur wajah. Jika ada keserasian yang ditemukan, lokasi wajah akan ditandai dengan kotak persegi panjang yang menunjukkan keberadaan wajah dalam gambar.

Setiap gambar yang terdeteksi akan diberikan anotasi visual dengan menambahkan kotak tersebut menggunakan fungsi *insertObjectAnnotation*. Hasil gambar yang telah dianotasi selanjutnya disimpan secara otomatis dalam folder baru yang dinamakan *output* deteksi. Nama *file* hasil akan mencerminkan nama *file* asli, tetapi dengan tambahan akhiran *_deteksi* untuk membedakannya dari gambar yang asli.

Program ini juga menunjukkan peran penting dari parameter dan skala dalam proses pengubahan ukuran yang mempengaruhi keberhasilan deteksi. Misalnya, jika gambar terlalu besar atau terlalu kecil, sistem mungkin tidak dapat mengenali wajah dengan baik. Oleh karena itu, proses penyesuaian ukuran baik secara

manual (dengan memasukkan lebar dan tinggi baru) atau otomatis (menggunakan skala seperti 0.5) bertujuan untuk mengatur ukuran wajah dalam gambar agar berada dalam jangkauan yang dapat dikenali oleh detektor. Dalam pengujian manual, ditemukan bahwa penggunaan skala *resize* 0.5 cukup efektif untuk mendeteksi objek dengan ukuran minimum sekitar 30x30 piksel, yang menunjukkan bahwa ukuran sangat berpengaruh terhadap sensitivitas sistem.

2. *Minsize* dan *Maxsize*

Parameter ini digunakan untuk menampilkan hasil deteksi objek berdasarkan ukuran, sehingga sistem tidak dapat mengidentifikasi objek yang terlalu kecil atau terlalu besar yang mungkin bukan wajah. Misalnya, parameter '*MinSize*' dapat diatur ke, katakanlah, 640 x 480 atau 600 x 600 piksel, untuk menentukan ukuran objek terkecil yang dapat terdeteksi. Aturan ini penting untuk meningkatkan akurasi sistem dalam mendeteksi wajah yang relevan. Berdasarkan hasil pengubahan ukuran tangan dengan skala 0,5 (50 persen dari ukuran asli), sistem hanya dapat mendeteksi objek dengan ukuran minimum sekitar 30 x 30 piksel. Karena itu, memilih nilai '*MinSize*' dan skala gambar memiliki dampak signifikan pada kinerja dan hasil deteksi wajah secara otomatis. Paragraph harus teratur.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan deteksi wajah yang dikembangkan dengan MATLAB serta metode Haar Cascade, dapat diambil kesimpulan bahwa sistem mampu melakukan deteksi wajah secara otomatis dan efisien dari gambar yang dipilih dengan tangan. Proses deteksi ini berhasil dilakukan dengan menandai area wajah menggunakan anotasi visual berbentuk persegi, dan hasilnya disimpan dalam folder tertentu sebagai keluaran. Langkah ini menggambarkan penerapan nyata dari teknik pengolahan citra digital, yang dapat mengenali objek manusia (wajah) berdasarkan pola visual tertentu.

Penelitian ini menunjukkan bahwa metode Haar Cascade adalah salah satu metode yang efisien untuk mendeteksi wajah secara langsung. Dengan bantuan pustaka OpenCV, Haar Cascade mampu mengenali elemen-elemen wajah berdasarkan pola tertentu seperti mata, hidung, dan bibir. Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa pendekatan ini memiliki kecepatan dan tingkat akurasi yang cukup untuk aplikasi deteksi wajah, terutama saat pencahayaan bagus dan posisi tampak jelas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Judul Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Ibu Lailan Sofinah Harahap M.Kom, selaku dosen pengolahan citra yang telah membantu saya menyelesaikan karya tulis ini serta memberi dukungan untuk menyelesaikan artikel ini dengan baik.

REFERENSI

- [1] Batubara, I. H., Saragih, S., Syahputra, E., Armanto, D., Sari, I. P., Lubis, B. S., & Siregar, E. F. S. (2022). Mapping research developments on mathematics communication: Bibliometric study by VosViewer. **Al-Ishlah: Jurnal Pendidikan**, 14(3), 2637–2648.
- [2] Deise, M., & Roque, T. (2016). Face detection and recognition in color images under Matlab. **Journal of Computer Science Research**, 9(2), 13–24.
- [3] Fouad, S., Al-Azawi, T., & Abdulrahman, A. A. (2020). Face detection by some methods based on Matlab. **International Journal of Computer Applications**.
- [4] Hartanto, B. (2022). **Visi komputer: Teori dan praktik dengan Python dan OpenCV**. Andi.
- [5] Kosasih, R., & Daomara, C. (2021). Pengenalan wajah dengan menggunakan metode Local Binary Patterns Histograms (LBPH). **Jurnal Media Informatika Budidarma**, 5(4), 1258. <https://doi.org/10.30865/mib.v5i4.3171>
- [6] Nugroho, S. R. (2023). **Pengenalan pola dan pembelajaran mesin**. Graha Ilmu.
- [7] Prastya, A., & Mahardiyah. (2019). Sistem pengenalan wajah manusia menggunakan algoritma Viola-Jones dan Principal Component Analysis (pp. 85–92). Universitas Maarif Hasyim.
- [8] Putra, T. W. A., Adi, K., & Isnanto, R. R. (2013). Pengenalan wajah dengan matriks kookurensi aras keabuan dan jaringan syaraf tiruan probabilistik. **Jurnal Sistem Informasi Bisnis**, 3(2). <https://doi.org/10.21456/vol3iss2pp8294>
- [9] Ramadhani, A. (2021). **Kecerdasan buatan dalam pengolahan citra digital**. Penerbit Erlangga.
- [10] Rifki, K., Priambodho, J., & Musthofa, A. (2021). Pengenalan plat nomor dan wajah pengendara menggunakan convolutional neural network dan metode absolute difference pada sistem gerbang otomatis. **Jurnal Teknik ITS**, 10(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i2.72508>
- [11] Sari, I. P., Al-Khowarizmi, A., & Batubara, I. H. (2021). Cluster analysis using K-means algorithm and fuzzy C-means clustering for grouping students' abilities in online learning process. **Journal of Computer Science, Information Technology and Telecommunication Engineering**, 2(1), 139–144.
- [12] Sari, I. P., Al-Khowarizmi, A., & Batubara, I. H. (2021). Optimization of the FP-Growth algorithm in data mining techniques to get the electric power theft pattern for the development of smart city. In **4th International Conference of Computer and Informatics Engineering (IC2IE)** (pp. 293–298).
- [13] Sari, I. P., Batubara, I. H., & Al-Khowarizmi, A. (2021). Sensitivity of obtaining errors in the combination of

fuzzy and neural networks for conducting student assessment on e-learning. *International Journal of Economic, Technology and Social Sciences (Injects)*, 2(1), 331–338.

- [14] Suryani, L., & Firmansyah, D. (2021). *Pengolahan citra digital dan implementasinya dalam deteksi wajah*. Informatika.