

## Aplikasi (Analisis Implementasi Penerapan Histogram Equalization Adaptif Dalam Meningkatkan Kualitas Video Real-Time)

Ahmad Ardi Nur<sup>1</sup>, Tommy<sup>2</sup>, Saruddin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik Dan Komputer, Universitas Harapan Medan  
JL.H.M. Jhoni NO. 70 A, Medan,Indonesia.

\*) Email Penulis Korespondensi: [ahmadardinur34@gmail.com](mailto:ahmadardinur34@gmail.com)

**Abstrak**—Teknologi pengenalan wajah telah menjadi topik penting dalam visi komputer dan kecerdasan buatan, dengan aplikasi di berbagai bidang seperti keamanan, pengawasan, dan interaksi manusia-mesin. Tahapan utama dalam sistem ini meliputi deteksi wajah (face detection) dan pelacakan wajah (face tracking). Penelitian ini mengusulkan penggunaan Adaptive Histogram Equalization (AHE) untuk meningkatkan performa sistem deteksi dan pelacakan wajah berbasis realtime cascade classifier. AHE meningkatkan kontras gambar dengan menyesuaikan histogram citra secara lokal, sehingga diharapkan dapat mengatasi variasi kondisi pencahayaan yang sering menjadi tantangan utama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan AHE dapat meningkatkan akurasi dan kestabilan deteksi dan pelacakan wajah dalam berbagai kondisi pencahayaan. Aplikasi AHE dalam sistem realtime cascade classifier face tracking diharapkan memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sistem pengenalan wajah yang lebih canggih dan andal.

**Kata Kunci:** Pelacakan wajah, adaptive histogram equalization, realtime cascade classifier

**Abstract**—Facial recognition technology has become a significant topic in computer vision and artificial intelligence, with applications in various fields such as security, surveillance, and human-machine interaction. The primary stages in this system include face detection and face tracking. This study proposes the use of Adaptive Histogram Equalization (AHE) to enhance the performance of a realtime cascade classifier-based face detection and tracking system. AHE enhances image contrast by locally adjusting the image histogram, which is expected to address the variation in lighting conditions that often pose a major challenge. The results of this study indicate that the use of AHE can improve the accuracy and stability of face detection and tracking under various lighting conditions. The application of AHE in realtime cascade classifier face tracking systems is expected to make a significant contribution to the development of more advanced and reliable facial recognition systems.

**Keywords:** Face tracking, adaptive histogram equalization, realtime cascade classifier.

### 1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi pengenalan wajah telah menjadi subjek penting dalam bidang visi komputer dan kecerdasan buatan. Pengenalan wajah digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk keamanan, pengawasan, dan interaksi manusia-mesin. Pengenalan wajah telah menjadi salah satu bidang penting dalam visi komputer dan kecerdasan buatan. Teknologi ini telah menemukan aplikasi luas dalam berbagai bidang, termasuk keamanan, pengawasan, identifikasi, dan interaksi manusia-mesin. Di antara tahapan utama dalam sistem pengenalan wajah adalah face detection (deteksi wajah) dan face tracking (pelacakan wajah). Face detection bertujuan untuk menemukan dan mengidentifikasi lokasi wajah dalam suatu gambar atau video, sementara face tracking bertujuan untuk melacak pergerakan wajah dalam rentang waktu yang kontinu. Pengaplikasian kedua teknik tersebut telah banyak diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari – hari seperti yang dapat dilihat pada penelitian yang dilakukan oleh Yang dan Han yang mengaplikasikan face detection pada sistem absensi (Yang & Han, 2020) dan beberapa pengaplikasian lainnya seperti sistem surveillance (Putra & Krisna, 2020), visitor counter (Mukti, Farokhah, & Aqromi, 2021) dan authentication (Wahyuddin, Wahiddin, & Kusumaningrum, 2023). Face detection

cascade classifier telah menjadi salah satu pendekatan yang umum digunakan (Anarki, Auliasari, & Orisa, 2021). Metode ini menggunakan serangkaian aliran klasifikasi untuk mendeteksi wajah dengan cepat dan efisien. Namun, kinerja dari pendekatan ini dapat menurun secara signifikan dalam situasi dengan kondisi pencahayaan yang berbeda-beda. Oleh karena itu, perlu adanya pendekatan tambahan yang dapat membantu meningkatkan akurasi dan kestabilan deteksi dan pelacakan wajah, terutama dalam konteks penggunaan real-time seperti dalam video streaming atau aplikasi interaktif. Adaptive Histogram Equalization (AHE) adalah salah satu teknik pengolahan citra yang digunakan untuk meningkatkan kontras gambar dengan menyesuaikan histogram citra sesuai dengan keadaan lokal di dalam gambar (Dar & Mittal, 2021). Dalam konteks pelacakan wajah, AHE dapat menjadi alat yang berguna untuk meningkatkan performa pelacakan dengan meningkatkan kontras dan ketajaman citra, sehingga membuat deteksi dan pelacakan wajah menjadi lebih stabil dan akurat.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Analisis Masalah

Dalam pembuatan Aplikasi Histogram Equalization Pada Real Time Cascade Classifier Face Tracking. Selanjutnya dilakukan analisis kebutuhan terhadap Real Time Cascade Classifier Face Tracking menggunakan Histogram Equalization

#### a. Analisa Sistem Yang Berjalan

Selama ini setiap sistem yang serupa mungkin telah mengimplementasikan Cascade Classifier untuk deteksi wajah tanpa memanfaatkan Histogram Equalization (HE). Cascade Classifier sendiri telah terbukti efektif dalam mendeteksi objek dalam citra dengan kecepatan yang relatif tinggi, tetapi tanpa HE, gambar yang dihasilkan mungkin memiliki kontras yang rendah atau detail yang kurang jelas, terutama dalam kondisi pencahayaan yang tidak ideal. Analisis sistem sebelumnya dapat menunjukkan bahwa penggunaan HE dapat meningkatkan akurasi deteksi dan kualitas gambar secara signifikan, terutama dalam konteks pengolahan citra real-time untuk aplikasi pelacakan wajah.

#### b. Sistem Yang Diusulkan

Dengan pertimbangan beberapa kekurangan dan kelemahan pada sistem yang ada seperti yang telah dikemukakan diatas, dan melihat perkembangan zaman, disini penulis berusaha menyediakan sebuah pengimplementasian metode Histogram Equalization (HE) dalam sistem pelacakan wajah secara real-time menggunakan Cascade Classifier. Cascade Classifier digunakan untuk mendeteksi wajah dalam citra atau video dengan memanfaatkan serangkaian kaskade classifier yang terlatih. Penerapan HE bertujuan untuk meningkatkan kontras gambar dengan meratakan distribusi intensitas pikselnya, yang diharapkan akan meningkatkan kualitas gambar yang digunakan dalam deteksi wajah. Evaluasi sistem meliputi analisis kinerja untuk mengukur kecepatan proses deteksi wajah sebelum dan setelah penerapan HE, dengan tujuan membuktikan efektivitas peningkatan kualitas citra dalam aplikasi deteksi wajah secara real-time.

### 3.2 Prosedur Penyusunan Program.

Adapun langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam penyusunan program sebagai berikut :

#### 1. Analisis Persyaratan (Requirement Analysis):

Identifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional dari program yang akan dikembangkan. Klarifikasi input yang dibutuhkan, proses yang diharapkan, dan output yang diinginkan.

#### 2. Perencanaan (Planning):

Tentukan lingkup proyek dengan jelas, termasuk waktu yang diperlukan, sumber daya yang diperlukan, dan tanggung jawab masing-masing anggota tim jika proyek dilakukan secara tim. Buat rencana pengembangan yang mencakup tahapan pengembangan, estimasi waktu, dan milestone.

#### 3. Perancangan (Design):

Buat desain program yang rinci, termasuk arsitektur sistem, struktur data yang akan digunakan, algoritma yang diterapkan, dan antarmuka pengguna jika relevan. Desain ini harus mempertimbangkan skalabilitas, keamanan, dan efisiensi program.

#### **4. Implementasi (Implementation):**

Mulailah mengkode program berdasarkan desain yang telah disetujui. Pastikan bahwa kode diimplementasikan sesuai dengan standar pengembangan perangkat lunak yang baik dan dokumentasikan dengan baik setiap bagian dari kode yang ditulis.

#### **5. Testing dan Evaluasi (Testing and Evaluation):**

Lakukan pengujian unit untuk memastikan bahwa setiap bagian program berfungsi dengan baik secara individu. Lanjutkan dengan pengujian integrasi untuk memeriksa apakah komponen-komponen tersebut bekerja sama dengan baik. Akhirnya, lakukan pengujian sistem untuk mengevaluasi apakah program memenuhi persyaratan awal.

#### **6. Pelaporan (Reporting):**

Dokumentasikan semua proses pengembangan, hasil pengujian, serta evaluasi yang telah dilakukan. Buat dokumentasi teknis yang jelas dan lengkap untuk memudahkan pemahaman bagi pengguna dan pengembang selanjutnya.

#### **7. Implementasi dan Penyampaian (Deployment and Delivery):**

Siapkan program untuk diimplementasikan di lingkungan produksi atau di mana pun program tersebut akan digunakan. Pastikan untuk memberikan pelatihan jika diperlukan kepada pengguna akhir atau tim operasional.

#### **8. Pemeliharaan dan Perbaikan (Maintenance and Improvement):**

Setelah program diimplementasikan, perhatikan umpan balik dari pengguna dan lakukan pemeliharaan rutin serta perbaikan jika diperlukan untuk memastikan program tetap berjalan dengan baik dan memenuhi kebutuhan pengguna.

Dalam implementasinya sistem pertama kali akan melakukan perataan histogram. Fungsi perataan histogram, yang dikenal juga sebagai Histogram Equalization (HE), merupakan teknik yang penting dalam pemrosesan citra untuk meningkatkan kontras dan kualitas visual gambar. Dalam konteks ini, HE bekerja dengan meratakan distribusi intensitas piksel dalam gambar, sehingga menghasilkan gambar yang lebih terang dan lebih tajam. Teknik ini sangat bermanfaat dalam aplikasi seperti deteksi objek, di mana peningkatan kontras dapat membuat objek lebih mudah dikenali oleh algoritma pengenalan dan pelacakan. Selain itu, HE juga efektif dalam mengatasi masalah pencahayaan yang tidak merata dalam gambar, sehingga mampu menghasilkan citra yang lebih seimbang secara visual, meningkatkan detail yang terlihat, dan membuat informasi penting dalam gambar lebih mudah diakses.

Selain kegunaannya dalam meningkatkan kontras dan mengatasi masalah pencahayaan, HE juga dikenal karena kemudahannya dalam implementasi. Metodenya relatif sederhana dan tidak memerlukan komputasi yang berat, membuatnya cocok untuk aplikasi di berbagai platform dan sistem. Meskipun demikian, penerapannya perlu dipertimbangkan dengan baik untuk memastikan bahwa penyesuaian histogram tidak mengorbankan informasi penting atau menghasilkan efek samping yang tidak diinginkan. Dengan demikian, HE tetap menjadi salah satu teknik yang populer dan efektif dalam pengolahan citra, berperan penting dalam meningkatkan kualitas visual gambar untuk berbagai keperluan aplikasi teknologi pengolahan citra dan visi komputer.

9. Perataan Histogram

Tabel.1 Contoh perhitungan, digunakan potongan piksel warna dengan ukuran 5x5

47,82,150	34,110,233	129,48,158	71,55,197	100,243,184
214,5,252	109,114,57	27,240,249	126,212,221	125,153,223
243,4,4	83,62,162	151,123,99	50,23,214	99,13,142
235,187,111	101,58,16	90,115,216	191,27,86	38,216,210
181,81,241	158,119,97	179,105,22	67,122,28	141,119,36

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil dan Pembahasan

Aplikasi Histogram Equalization Pada Real Time Cascade Classifier Face Tracking dibangun sesuai dengan analisa dan perancangan seperti yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya yaitu bab metodologi penelitian, maka pada bagian ini akan dipaparkan hasil dari aplikasi yang dibangun menggunakan perancangan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Pada bab ini pembahasan akan dilakukan terhadap hasil dari sistem yang dibangun, fungsional sistem dan analisis terhadap kinerja sistem berdasarkan hasil *output* yang dihasilkan oleh sistem.

Aplikasi ini dapat di dijalankan dengan terlebih dahulu membuka atau menjalankan aplikasi seperti gambar 1



Gambar 1. Tampilan Utama Aplikasi

3.2 Implementasi Sistem

Aplikasi Histogram Equalization Pada Real Time Cascade Classifier Face Tracking terdapat dua *interface* atau antarmuka yang di desain untuk mempermudah *user* atau pemakai dalam menggunakan atau menjalankan aplikasi ini. Adapun *interface* atau antarmuka adalah sebagai berikut :

1. Halaman Utama

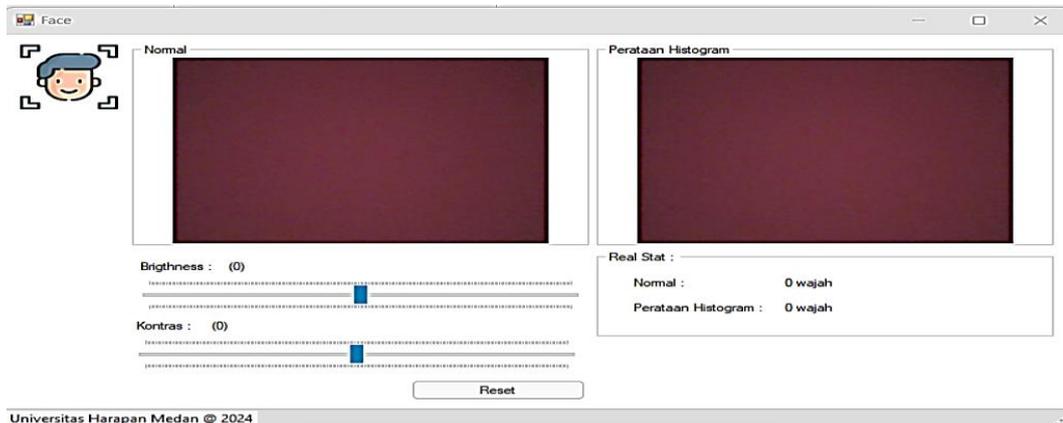
Halaman utama sendiri adalah sebuah halaman yang akan digunakan sebagai halaman navigasi yang akan mengarahkan pengguna untuk dapat memilih halaman enkripsi atau dekripsi. Halaman ini hanya digunakan sebagai awal penggunaan sistem dan tidak memiliki fungsi lain Adapun tampilan dari halaman *login* admin dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2. Halaman Utama

## 2. Halaman Face Tracking

Halaman menu face tracking adalah halaman yang dhususkan melakukan face tracking atau track wajah pada aplikasi Dalam konteks realtime pada feed video yang juga real time. Adapun tampilan dari halaman steganografi dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Halaman Face Tracking

Dalam proses tracking sendiri sistem membutuhkan beberapa komponen pendukung yang digunakan agar proses tracking wajah dapat berjalan dengan baik bagi masing-masing algoritma. Komponen pengatur tersebut antara lain adalah :

1. Brightness atau pencahayaan yang digunakan untuk mengatur pencahayaan dari feed video yang digunakan. Brightness dalam pelacakan wajah (face tracking) pada umpan video langsung (live video feed) adalah faktor penting yang mempengaruhi kemampuan sistem untuk mendeteksi dan melacak wajah dengan akurat. Berikut adalah beberapa fungsi dan peranan brightness dalam konteks ini:
  - a. Deteksi Wajah yang Lebih Baik:  
Brightness yang memadai memastikan bahwa fitur wajah seperti mata, hidung, dan mulut terlihat jelas. Ketika pencahayaan cukup, algoritma pelacakan wajah dapat dengan mudah mendeteksi kontur dan detail wajah.
  - b. Meningkatkan Akurasi Pelacakan  
Dengan pencahayaan yang baik, sistem dapat melacak pergerakan wajah secara lebih akurat. Ini karena perubahan dalam intensitas cahaya dapat menyebabkan kesalahan dalam pelacakan, seperti menganggap bayangan sebagai bagian dari wajah.
  - c. Banyak sistem pelacakan wajah menggunakan algoritma penyesuaian otomatis untuk mengatur brightness. Ini membantu dalam menstabilkan tampilan wajah meskipun kondisi pencahayaan berubah-ubah, misalnya saat bergerak dari area terang ke area gelap.
  - d. Reduksi Noise  
Brightness yang cukup membantu mengurangi noise dalam gambar. Noise dapat mengganggu deteksi fitur wajah dan membuat pelacakan menjadi tidak stabil. Dengan pencahayaan yang baik, sinyal gambar lebih bersih dan lebih mudah diolah oleh algoritma.
  - e. Kompensasi Cahaya Latar

Brightness yang diatur dengan baik dapat membantu dalam situasi di mana ada cahaya latar yang kuat. Ini memungkinkan sistem untuk fokus pada wajah meskipun ada sumber cahaya yang kuat di belakang subjek.

## 2. Pengenalan Ekspresi Wajah

Dalam aplikasi yang membutuhkan pengenalan ekspresi wajah, brightness yang memadai sangat penting. Ekspresi wajah bisa sulit dideteksi jika pencahayaan tidak merata atau terlalu redup. Secara keseluruhan, brightness dalam face tracking pada live video feed sangat penting untuk memastikan bahwa wajah dapat dideteksi, diidentifikasi, dan dilacak dengan akurat dalam berbagai kondisi pencahayaan.

## 3. Kontras dalam pelacakan wajah (face tracking) pada umpan video langsung (live video feed) juga memiliki peran penting dalam meningkatkan kualitas deteksi dan pelacakan wajah. Berikut adalah beberapa fungsi dan peranan kontras dalam konteks ini:

### a. Memperjelas Fitur Wajah

Kontras yang baik membantu memperjelas perbedaan antara fitur wajah (seperti mata, hidung, dan mulut) dan latar belakang atau area kulit yang lebih halus. Ini membuat algoritma lebih mudah mendeteksi dan mengenali fitur-fitur penting tersebut.

### b. Meningkatkan Akurasi Pelacakan:

Dengan kontras yang optimal, perbedaan antara wajah dan latar belakang lebih jelas, sehingga algoritma pelacakan dapat mengikuti pergerakan wajah dengan lebih akurat dan stabil.

### c. Mendeteksi Kontur Wajah:

Kontras yang baik membantu dalam mendeteksi kontur wajah, seperti garis rahang dan tulang pipi. Kontur yang jelas mempermudah sistem dalam mengidentifikasi batas-batas wajah dan mengikuti gerakannya.

### d. Mengurangi Pengaruh Noise:

Kontras yang baik dapat membantu dalam mengurangi pengaruh noise dalam gambar. Dengan kontras yang optimal, fitur-fitur penting pada wajah menjadi lebih dominan dan noise menjadi kurang menonjol.

### e. Adaptasi dalam Kondisi Pencahayaan Beragam:

Sistem pelacakan wajah yang baik seringkali dilengkapi dengan algoritma yang dapat menyesuaikan kontras secara otomatis untuk mengatasi perubahan kondisi pencahayaan. Ini membantu dalam menjaga kualitas pelacakan meskipun pencahayaan berubah-ubah.

### f. Peningkatan Pengenalan Ekspresi Wajah

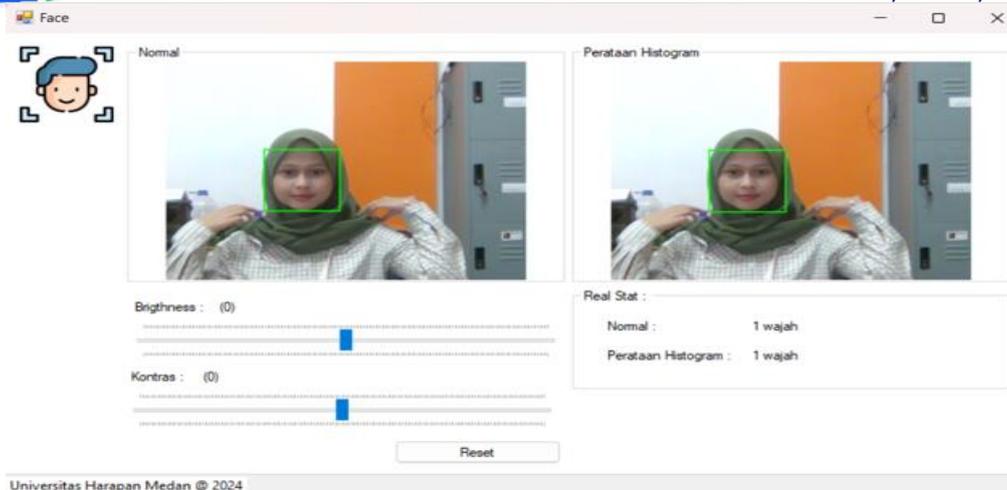
Kontras yang optimal memudahkan pengenalan ekspresi wajah. Ekspresi wajah melibatkan perubahan halus pada otot wajah yang bisa lebih mudah dikenali ketika perbedaan antara area terang dan gelap pada wajah lebih jelas.

### g. Memisahkan Wajah dari Latar Belakang:

Dalam situasi di mana latar belakang memiliki warna atau tekstur yang mirip dengan warna kulit, kontras yang baik membantu dalam memisahkan wajah dari latar belakang, sehingga pelacakan dapat dilakukan dengan lebih akurat.

Dalam situasi di mana latar belakang memiliki warna atau tekstur yang mirip dengan warna kulit, kontras yang baik membantu dalam memisahkan wajah dari latar belakang, sehingga pelacakan dapat dilakukan dengan lebih akurat. Secara keseluruhan, kontras dalam face tracking pada live video feed sangat penting untuk memastikan bahwa fitur-fitur wajah dapat terlihat jelas dan terpisah dengan baik dari latar belakang. Ini membantu dalam meningkatkan akurasi dan stabilitas pelacakan wajah dalam berbagai kondisi pencahayaan.

Dalam pengujiannya, penulis menggunakan dua konsep yaitu pengujian dengan satu wajah untuk beberapa nilai kontras dan brightness, dan kemudian dua wajah dengan nilai kontras dan brightness yang berbeda.

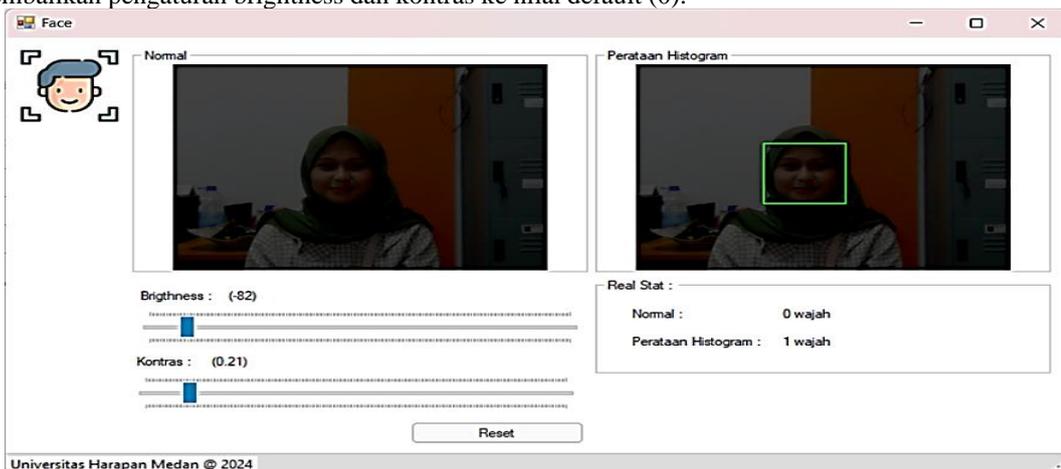


**Gambar 4.** Pengujian Face Tracking dengan 1 Wajah

Seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.4, wajah yang ada Dalam feed dapat dikenali oleh kedua algoritma dengan baik. Gambar menunjukkan antarmuka aplikasi pelacakan wajah (face tracking) dengan dua tampilan video berbeda: satu dengan pengaturan normal dan satu lagi dengan penerapan histogram equalization. Pada sisi kiri, terlihat tampilan video normal dari kamera di mana wajah yang sedang dilacak oleh sistem berada di dalam kotak hijau. Pencahayaan dan kontras dalam tampilan ini belum diolah lebih lanjut, sehingga terlihat alami seperti apa adanya.

Di sisi kanan, terdapat tampilan video yang telah diproses menggunakan teknik histogram equalization. Teknik ini digunakan untuk memperbaiki kontras dalam citra, sehingga detail wajah menjadi lebih jelas dan terdefinisi dengan baik, membantu dalam mendeteksi dan melacak wajah dengan lebih akurat. Di bawah tampilan video, terdapat dua slider yang memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan brightness (kecerahan) dan kontras dari video. Pengaturan ini memungkinkan pengguna untuk mengoptimalkan pencahayaan dan kontras agar wajah lebih mudah dilacak.

Bagian kanan bawah antarmuka menunjukkan indikator yang menampilkan jumlah wajah yang terdeteksi dalam kedua tampilan video. Pada contoh ini, baik tampilan normal maupun tampilan dengan histogram equalization berhasil mendeteksi satu wajah. Terdapat juga tombol reset di bawah slider yang digunakan untuk mengembalikan pengaturan brightness dan kontras ke nilai default (0).



**Gambar 5.** Pengujian Face Tracking dengan Nilai Brighness dan Kontras yang Minim

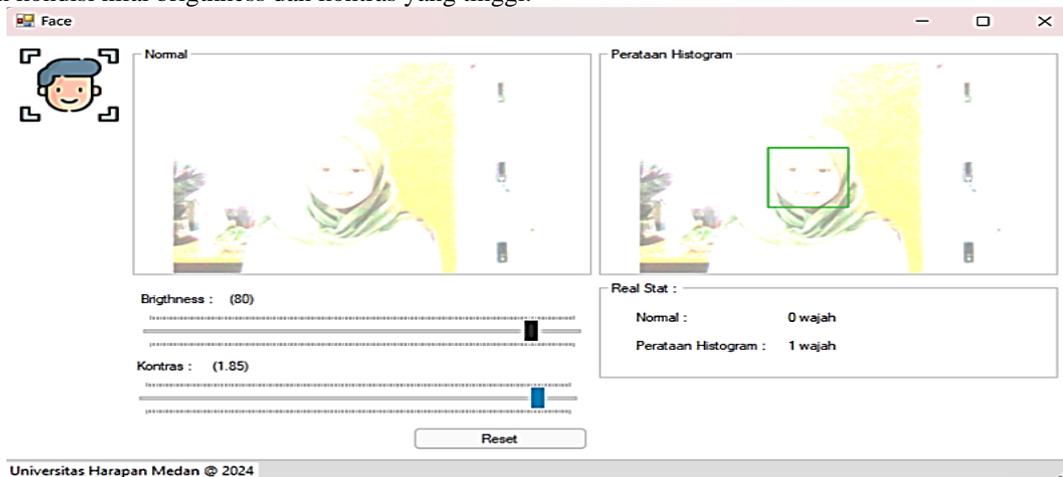
Gambar 5 diatas adalah antarmuka aplikasi pelacakan wajah (face tracking) dengan dua tampilan video berbeda: satu dengan pengaturan normal dan satu lagi dengan penerapan histogram equalization. Pada sisi kiri, terlihat tampilan video normal dari kamera di mana tidak ada wajah yang terdeteksi karena nilai brightness diatur

pada -82 dan kontras pada 0.21. Pengaturan ini membuat tampilan video terlalu gelap dan kontras rendah, sehingga fitur wajah sulit dikenali oleh sistem.

Di sisi kanan, terdapat tampilan video yang telah diproses menggunakan teknik histogram equalization. Teknik ini memperbaiki kontras dalam citra, membuat detail wajah lebih jelas dan terdefinisi dengan baik. Meskipun pengaturan brightness dan kontras awalnya tidak ideal, histogram equalization berhasil meningkatkan kualitas gambar sehingga wajah dapat dideteksi dan dilacak dengan akurat. Dalam kotak hijau, terlihat wajah yang berhasil dideteksi oleh sistem di tampilan ini.

Bagian kanan bawah antarmuka menunjukkan indikator yang menampilkan jumlah wajah yang terdeteksi dalam kedua tampilan video. Pada contoh ini, hanya tampilan dengan histogram equalization yang berhasil mendeteksi satu wajah. Terdapat juga tombol reset di bawah slider yang digunakan untuk mengembalikan pengaturan brightness dan kontras ke nilai default (0).

Engan mempertimbangkan pengaturan brightness dan kontras serta perbedaan hasil antara tampilan normal dan yang telah diproses dengan histogram equalization, kita dapat memahami pentingnya pengolahan citra dalam aplikasi pelacakan wajah. Penerapan histogram equalization menunjukkan betapa signifikan teknik ini dalam mengoptimalkan kualitas gambar dan meningkatkan akurasi deteksi wajah, terutama dalam kondisi pencahayaan yang kurang ideal. Hal ini menggarisbawahi keunggulan teknik pengolahan citra dalam mengatasi keterbatasan deteksi yang disebabkan oleh pengaturan parameter yang tidak optimal. Selanjutnya pengujian akan dilakukan dengan kondisi nilai brightness dan kontras yang tinggi.



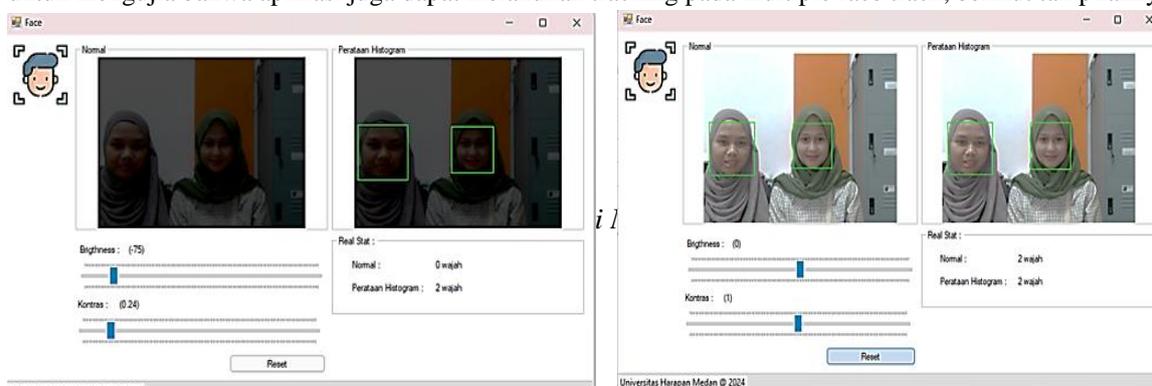
**Gambar 6.** Face Tracking dengan Nilai Brightness dan Kontras yang Tinggi

Gambar 4.6 menunjukkan sebuah aplikasi pelacakan wajah (face tracking) dengan dua tampilan video berbeda: satu dengan pengaturan normal dan satu lagi dengan penerapan histogram equalization. Pada sisi kiri, terlihat tampilan video normal dari kamera di mana tidak ada wajah yang terdeteksi karena nilai brightness diatur pada +80 dan kontras pada 1.85. Pengaturan ini membuat tampilan video terlalu terang dan kontras tinggi, sehingga fitur wajah sulit dikenali oleh sistem.

Di sisi kanan, terdapat tampilan video yang telah diproses menggunakan teknik histogram equalization. Teknik ini memperbaiki kontras dalam citra, membuat detail wajah lebih jelas dan terdefinisi dengan baik. Meskipun pengaturan brightness dan kontras awalnya tidak ideal, histogram equalization berhasil meningkatkan kualitas gambar sehingga wajah dapat dideteksi dan dilacak dengan akurat. Dalam kotak hijau, terlihat wajah yang berhasil dideteksi oleh sistem di tampilan ini.

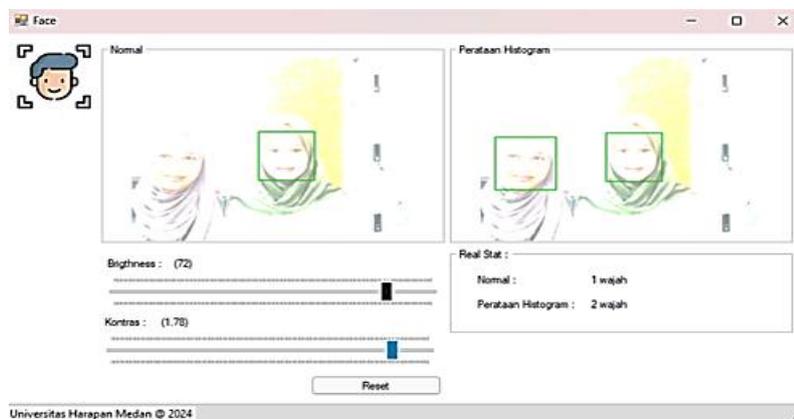
Bagian kanan bawah antarmuka menunjukkan indikator yang menampilkan jumlah wajah yang terdeteksi dalam kedua tampilan video. Pada contoh ini, hanya tampilan dengan histogram equalization yang berhasil mendeteksi satu wajah. Terdapat juga tombol reset di bawah slider yang digunakan untuk mengembalikan pengaturan brightness dan kontras ke nilai default (0).

Pengujian kemudian akan dilanjutkan dengan menggunakan dua wajah yang dapat ditrack pada live feed video untuk mengujia bahwa aplikasi juga dapat melakukan tracking pada multiple face track, berikut tampilannya.



**Gambar 7.** Halaman Ekstraksi Proses Ekstraksi Pesan Rahasia

Setelah proses ekstraksi pesan rahasia selesai dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah mengembalikan posisi data teks atau pesan rahasia yang sebelumnya tidak bisa dibaca (ciperteks) menjadi data atau pesan rahasia yang bisa dibaca (Plainteks). Proses enkripsi mengharuskan pengguna untuk menggunakan kunci yang sama pada saat proses pengacakan data atau pesan rahasia pada saat proses steganografi untuk pengujian ini kunci yang digunakan adalah 425 untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut :



**Gambar 8.** Pengujian Pada Tiga Parameter dengan Dua Wajah Sekaligus

Gambar 4.8 menunjukkan kondisi Dimana aplikasi pelacakan wajah (face tracking) dengan dua tampilan video berbeda: satu dengan pengaturan normal dan satu lagi dengan penerapan histogram equalization. Di sini, kita akan membahas hasil pelacakan wajah dalam tiga kondisi berbeda: pengaturan normal, pengaturan dengan brightness tinggi dan kontras tinggi, serta pengaturan dengan brightness rendah dan kontras rendah. Pada tiap kondisi ini, dua wajah digunakan untuk face tracking.

**Pengaturan Normal**

Pada pengaturan normal, nilai brightness dan kontras diatur pada level standar yang sesuai untuk kondisi pencahayaan umum. Dalam tampilan video normal (kiri), dua wajah terdeteksi dan dilacak dengan baik oleh sistem, ditunjukkan dengan kotak hijau di sekitar setiap wajah. Tampilan video dengan histogram equalization (kanan) memperlihatkan hasil yang serupa, dengan dua wajah yang terlihat jelas dan terdefinisi dengan baik. Histogram equalization memastikan bahwa fitur-fitur wajah tetap tajam dan mudah dikenali, meskipun dalam kondisi pencahayaan yang tidak sempurna.

**Pengaturan Brightness Tinggi dan Kontras Tinggi**

Pada pengaturan ini, nilai brightness diatur pada +80 dan kontras pada 1.85. Dalam tampilan video normal (kiri), dua wajah mungkin tidak terdeteksi atau sulit dikenali karena tampilan yang terlalu terang dan kontras yang terlalu tinggi, yang menyebabkan hilangnya detail wajah. Namun, dalam tampilan video dengan histogram equalization (kanan), teknik ini membantu memperbaiki kontras gambar, membuat detail wajah lebih terlihat dan terdefinisi dengan baik. Hasilnya, dua wajah berhasil dideteksi dan dilacak dengan akurat meskipun pengaturan awal tidak ideal.

**Pengaturan Brightness Rendah dan Kontras Rendah**

Pada pengaturan ini, nilai brightness diatur pada -82 dan kontras pada 0.21. Dalam tampilan video normal (kiri), dua wajah mungkin tidak terdeteksi karena gambar yang terlalu gelap dan kontras yang rendah, yang membuat fitur wajah sulit dikenali. Namun, tampilan video dengan histogram equalization (kanan) berhasil meningkatkan kualitas gambar dengan memperbaiki kontras, sehingga detail wajah menjadi lebih jelas dan terdefinisi. Dua wajah yang sebelumnya sulit dikenali kini berhasil dideteksi dan dilacak dengan akurat.

Dengan mempertimbangkan pengaturan brightness dan kontras serta perbedaan hasil antara tampilan normal dan yang telah diproses dengan histogram equalization, kita dapat memahami pentingnya pengolahan citra dalam aplikasi pelacakan wajah. Penerapan histogram equalization menunjukkan betapa signifikan teknik ini dalam mengoptimalkan kualitas gambar dan meningkatkan akurasi deteksi wajah, terutama dalam kondisi pencahayaan yang kurang ideal. Hal ini menggarisbawahi keunggulan teknik pengolahan citra dalam mengatasi keterbatasan deteksi yang disebabkan oleh pengaturan parameter yang tidak optimal.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan proses perancangan aplikasi histogram equalization pada real time cascade classifier face tracking, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Penerapan teknik pengolahan citra, khususnya Adaptive Histogram Equalization (AHE), terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas gambar. AHE membantu memperbaiki kontras dan membuat detail wajah lebih terlihat, yang secara langsung meningkatkan akurasi dan efisiensi sistem face tracking yang menggunakan cascade classifier pada real-time video dari webcam.
2. Sistem yang dibangun menunjukkan kinerja yang bervariasi berdasarkan kondisi pencahayaan. Dengan pengaturan brightness dan kontras yang ekstrem (terlalu tinggi atau terlalu rendah), kemampuan sistem dalam mendeteksi wajah tanpa AHE berkurang secara signifikan. Namun, dengan AHE, sistem dapat mengatasi tantangan ini dan tetap mendeteksi wajah dengan baik dalam berbagai kondisi pencahayaan.
3. Cascade classifier yang digunakan dalam deteksi dan pelacakan wajah menunjukkan performa yang baik ketika digabungkan dengan AHE. Algoritma ini memungkinkan sistem untuk melakukan deteksi wajah secara real-time dengan tingkat akurasi yang memadai, menunjukkan bahwa kombinasi metode ini cocok untuk aplikasi real-time video face tracking.

#### REFERENSI

- [1] Ahmed, A., & Ali, H. (2023). Enhancing Face Tracking Performance With Contrast Adjustment Techniques. *Journal Of Visual Communication And Image Representation*, 91, 103204.
- [2] Anarki, H., Auliasari, A., & Orisa, T. (2021). Penerapan Metode Cascade Classifier Pada Sistem Pendeteksi Wajah Real-Time. *Jurnal Teknologi Informasi*, 12(2), 145-153.
- [3] Chen, Y., & Wang, Z. (2019). Adaptive Contrast Enhancement For Robust Face Detection In Video Surveillance Systems. *Journal Of Real-Time Systems*, 55(2), 149-162.
- [4] Darmawan, D., & Hidayat, R. (2022). Adaptive Histogram Equalization Untuk Meningkatkan Akurasi Face Detection Pada Kondisi Pencahayaan Beragam. *Jurnal Ilmu Komputer*, 15(3), 75-82.
- [5] Haryono, B., & Saputra, M. (2021). Sistem Deteksi Wajah Real-Time Berbasis Cascade Classifier Dengan Peningkatan Kontras Menggunakan Adaptive Histogram Equalization. *Jurnal Informatika Dan Sistem Komputer*, 13(4), 144-150.
- [6] Kim, J., & Lee, S. (2021). Face Detection And Recognition In Dynamic Environments Using Cascade Classifiers. *Pattern Recognition Letters*, 144, 1-7.
- [7] Kumar, R., & Sharma, P. (2019). A Comparative Analysis Of Face Detection Techniques For Real-Time Applications. *International Journal Of Computer Vision*, 128(5), 1261-1270.
- [8] Li, M., & Chen, G. (2022). Adaptive Histogram Equalization In Face Tracking Systems: An Empirical Study. *Journal Of Real-Time Image Processing*, 19(4), 789-798.
- [9] Mukti, F., Farokhah, R., & Aqromi, A. (2021). Implementasi Face Tracking Menggunakan Histogram Equalization Pada Sistem Visitor Counter. *Jurnal Sistem Informasi Dan Komputer*, 9(1), 33-40.
- [10] Putra, K., & Krisna, I. (2020). Penggunaan Face Detection Dalam Sistem Pengawasan Berbasis Video Streaming. *Jurnal Rekayasa Sistem Komputer*, 10(4), 98-104.
- [11] Rachmadi, R., & Sari, D. (2022). Pengembangan Sistem Pengenalan Wajah Untuk Keamanan Jaringan Menggunakan Metode Cascade Classifier. *Jurnal Keamanan Siber*, 7(1), 58-65.
- [12] Santoso, T., & Hadi, S. (2019). Analisis Kinerja Cascade Classifier Dalam Deteksi Wajah Pada Kondisi Pencahayaan Rendah. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 11(3), 190-197.
- [13] Santos, L., & Perez, A. (2020). Improving Face Detection Accuracy Under Varying Lighting Conditions Using Adaptive Techniques. *International Journal Of Machine Learning And Cybernetics*, 11(2), 453-461.
- [14] Singh, V., & Gupta, N. (2022). Real-Time Face Tracking In Video Streams Using Adaptive Histogram Equalization. *Signal Processing: Image Communication*, 94, 116171.

- [15] Sutrisno, S., & Wardhana, A. (2023). Implementasi Histogram Equalization Dalam Face Tracking Pada Video Streaming. *Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Informasi*, 15(2), 102-109.
- [16] Wahyuddin, M., Wahiddin, M., & Kusumaningrum, E. (2023). Sistem Otentikasi Berbasis Face Detection Menggunakan Adaptive Histogram Equalization. *Jurnal Informatika*, 14(2), 120-128.
- [17] Wang, T., & Lin, F. (2021). Adaptive Histogram Equalization In Real-Time Face Detection Systems. *Journal Of Multimedia Tools And Applications*, 80(19), 29415-29433.
- [18] Widodo, A., & Putri, Y. (2020). Perbandingan Metode Histogram Equalization Dan Clahe Pada Pendeteksian Wajah. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi*, 11(2), 85-91.
- [19] Yang, H., & Han, S. (2020). Real-Time Face Detection And Tracking Using Cascade Classifier. *Journal Of Computer Vision And Pattern Recognition*, 14(3), 215-221.
- [20] Zhang, X., & Liu, Y. (2021). Enhancement Of Face Detection In Real-Time Systems Using Adaptive Histogram Equalization. *Ieee Transactions On Image Processing*, 30, 575-583.