

# OPTIMALISASI DETEKSI WAJAH DLIB-HOG PADA CITRA INTENSITAS RENDAH DENGAN PREPROCESSING CLAHE

David Clemens Sumampouw<sup>1</sup>, Prahasta Napolado Damanik<sup>1</sup>, Feliks Sinaga<sup>2</sup>,  
I Made Oka Widyantara<sup>2</sup>, Ngurah Indra ER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jalan Raya Kampus Unud, Jimbaran, Kec. Kuta Selatan, Badung Bali 80361

[felikssinaga8@gmail.com](mailto:felikssinaga8@gmail.com), [oka.widyantara@unud.ac.id](mailto:oka.widyantara@unud.ac.id), [indra@unud.ac.id](mailto:indra@unud.ac.id)

## ABSTRAK

Deteksi Wajah berbasis Dlib-HOG memiliki performa tinggi namun menurun pada citra dengan pencahayaan rendah. Tujuan penelitian ini menguji efektivitas *preprocessing Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) untuk meningkatkan akurasi deteksi wajah dalam kondisi tersebut. CLAHE diterapkan pada citra *grayscale* untuk memperjelas kontras local tanpa menimbulkan artefak berlebih, sehingga fitur wajah lebih mudah dikenali oleh algoritma HOG. Eksperimen dilakukan pada dataset wajah dengan variasi pencahayaan, membandingkan hasil deteksi sebelum dan sesudah *preprocessing*. Hasil menunjukkan peningkatan akurasi dari 85,7% menjadi 96,4% dan penurunan *false negative*, dengan tambahan waktu proses yang minimal. CLAHE terbukti efektif dan ringan dalam meningkatkan performa Dlib-HOG pada citra berkualitas rendah.

**Kata Kunci:** *Face Detection*, Dlib, HOG, CLAHE, Preprocessing Citra, Peningkatan Kontras, *Computer Vision*

## ABSTRACT

*Face detection using Dlib-HOG offers high performance under ideal lighting condition but significantly degrades when applied to low-light images. This study evaluates the effectiveness of Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) as a preprocessing method to enhance face detection accuracy under poor lighting conditions. CLAHE is applied to grayscale images to improve local contrast without introducing excessive artifacts, thereby making facial features more distinguishable for the HOG-based algorithm. Experiments were conducted on a facial image dataset with varied lighting conditions, comparing detection results before and after preprocessing. The results show a notable improvement in detection accuracy from 85.7% to 96.4% and a reduction in false negatives, with only a minimal increase in processing time. These findings confirm that CLAHE is an efficient and lightweight enhancement technique for improving the performance of Dlib-HOG on low-quality images.*

**Keywords:** *Face Detection*, Dlib, HOG, CLAHE, Image Preprocessing, Contrast Enhancement, *Computer Vision*

## 1. PENDAHULUAN

Deteksi wajah merupakan komponen krusial dalam system berbasis *computer vision*, seperti pengenalan wajah, keamanan, pengawasan, dan interaksi manusia-komputer. Akurasi dan kecepatan dalam mendeteksi wajah sangat menentukan keberhasilan sistem-sistem tersebut. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk mendeteksi wajah secara cepat adalah metode *Histogram of Oriented Gradients (HOG)* yang diimplementasikan pada pustaka Dlib. Metode ini bekerja dengan mendeteksi pola gradien pada gambar dan menghasilkan *bounding box* pada area yang terdeteksi sebagai wajah [1].

Meskipun metode HOG memiliki keunggulan dalam kecepatan dan efisiensi, performanya dapat menurun secara signifikan dalam kondisi pencahayaan rendah [2], kontras gambar yang buruk, atau kualitas visual yang tidak ideal. Hal ini menyebabkan meningkatnya jumlah kesalahan deteksi, baik dalam bentuk *false negative* (wajah tidak terdeteksi) maupun *false positive* (area non-wajah terdeteksi sebagai wajah) [3].

Salah satu solusi potensial untuk mengatasi keterbatasan tersebut adalah dengan menerapkan teknik *preprocessing* citra, khususnya metode *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)* [4]. CLAHE merupakan teknik peningkatan kontras lokal yang mampu menonjolkan fitur-fitur penting pada citra tanpa menyebabkan efek over-enhancement. Dengan menerapkan CLAHE sebelum proses deteksi wajah dilakukan, diharapkan kontur wajah akan lebih jelas dan dapat dikenali dengan lebih baik oleh algoritma HOG [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penerapan *preprocessing*

CLAHE terhadap akurasi deteksi wajah menggunakan metode Dlib-HOG, khususnya pada citra dengan intensitas cahaya rendah. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis dampak *preprocessing* terhadap waktu pemrosesan sistem.

## 2. STUDI PUSTAKA

### 2.1 Face Detection

Face detection atau deteksi wajah adalah proses untuk mengidentifikasi dan menentukan keberadaan wajah manusia dalam suatu citra atau video. Proses ini merupakan tahap awal yang krusial dalam berbagai aplikasi seperti face recognition, emotion analysis, biometrik, hingga sistem pengawasan (*surveillance*) [1][2]. Deteksi wajah umumnya dilakukan dengan mengenali fitur-fitur visual khas dari wajah, seperti mata, hidung, dan mulut, serta memisahkannya dari latar belakang citra. Namun, salah satu tantangan utama dalam deteksi wajah adalah kondisi pencahayaan yang tidak ideal.

Dalam situasi pencahayaan rendah atau tidak merata, fitur-fitur wajah menjadi kurang kontras sehingga menyulitkan proses ekstraksi fitur dan mengakibatkan penurunan akurasi deteksi [3]. Hal ini berdampak langsung pada kinerja algoritma deteksi wajah, terutama metode berbasis fitur seperti *Histogram of Oriented Gradients (HOG)* yang digunakan dalam pustaka Dlib.

Metode Dlib-HOG dikenal memiliki performa tinggi dalam kondisi pencahayaan normal, namun sejumlah studi menunjukkan penurunan signifikan dalam akurasi saat digunakan pada citra dengan pencahayaan buruk [4][5]. Ini terjadi karena HOG sangat bergantung pada informasi tepi dan gradasi

intensitas piksel, yang dapat terganggu oleh noise atau kontras rendah.

Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan pendekatan tambahan seperti *preprocessing* citra guna meningkatkan kualitas visual sebelum dilakukan deteksi. Salah satu teknik yang banyak digunakan adalah *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE), yang terbukti mampu meningkatkan kontras lokal tanpa menimbulkan artefak berlebih, sehingga dapat membantu algoritma seperti Dlib-HOG mengenali fitur wajah dengan lebih baik [6]

## 2.2 OpenCV

OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*) merupakan pustaka *open-source* yang digunakan secara luas dalam pengolahan citra digital dan *computer vision*. Dalam penelitian ini, OpenCV dimanfaatkan secara khusus untuk melakukan *preprocessing* citra wajah dengan menerapkan metode *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE).

Fungsi `cv2.createCLAHE()` dari OpenCV digunakan untuk meningkatkan kontras lokal pada citra grayscale secara adaptif, terutama pada area-area wajah yang gelap atau kurang pencahayaan. Dengan memperjelas detail fitur seperti kontur mata, hidung, dan mulut, hasil *preprocessing* ini memungkinkan algoritma Dlib-HOG mendeteksi wajah dengan lebih akurat, bahkan pada kondisi pencahayaan yang buruk. Selain itu, OpenCV juga digunakan untuk konversi citra ke *grayscale* dan reduksi *noise*, menjadikannya fondasi teknis yang esensial dalam tahap persiapan citra sebelum proses deteksi wajah dilakukan.

## 2.3 Dlib

Dlib adalah pustaka C++ modern yang juga memiliki *binding* Python, yang sangat populer untuk tugas-tugas *machine learning*

dan *computer vision*. Dlib dikenal dengan metode deteksi wajah berbasis *Histogram of Oriented Gradients* (HOG) dan *Convolutional Neural Network* (CNN)[7][8]. Untuk tujuan efisiensi dan kecepatan, penelitian ini hanya menggunakan pendekatan HOG.

Dlib memiliki fungsi `get_frontal_face_detector()` yang menghasilkan detektor berbasis HOG dan SVM linear. Metode ini sangat efektif pada kondisi ideal, namun performanya akan menurun ketika citra memiliki pencahayaan yang buruk, noise tinggi, atau kontras rendah. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini diterapkan *preprocessing* CLAHE untuk meningkatkan performa deteksi oleh Dlib-HOG [9].

## 2.4 Histogram of Oriented Gradients (HOG)

HOG adalah metode ekstraksi fitur yang menghitung distribusi orientasi gradien dari intensitas cahaya pada citra. Dalam konteks Dlib, HOG digunakan sebagai metode deskripsi fitur wajah sebelum dilakukan klasifikasi oleh SVM. HOG membagi citra menjadi *cell* dan *block*, lalu menghitung histogram arah gradien pada setiap bagian. Namun, HOG sangat bergantung pada kualitas *input visual*[10].

Kontras yang rendah dapat menyebabkan informasi gradien menjadi tidak jelas sehingga mengurangi akurasi deteksi wajah. Oleh karena itu, dalam penelitian ini diterapkan CLAHE sebagai metode untuk menonjolkan fitur gradien dengan meningkatkan kontras lokal citra.

## 2.5 Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)

CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*) adalah teknik peningkatan kontras lokal yang bekerja dengan membagi citra menjadi beberapa *tile* kecil, kemudian melakukan histogram equalization

secara terpisah pada masing-masing tile. Untuk mencegah artefak akibat peningkatan kontras berlebih (over-enhancement), CLAHE menerapkan batas maksimum pada clip limit histogram sebelum redistribusi intensitas dilakukan. Proses ini menghasilkan peningkatan kontras yang adaptif terhadap kondisi lokal tanpa merusak struktur gambar.

Dalam penelitian ini, CLAHE digunakan sebagai tahap preprocessing untuk memperjelas fitur-fitur wajah seperti kontur hidung, mata, dan mulut yang seringkali tidak tampak jelas pada citra dengan pencahayaan rendah. Dengan kontras lokal yang lebih tinggi, informasi arah gradien pada citra menjadi lebih tajam, sehingga meningkatkan sensitivitas dan akurasi algoritma HOG dalam mendeteksi wajah.

## 2.6 Confusion Matrix

*Confusion matrix* merupakan metode evaluasi yang digunakan untuk mengukur performa sistem deteksi, termasuk dalam deteksi wajah. Matriks ini membandingkan hasil prediksi sistem dengan data ground truth dalam empat kategori: *True Positive (TP)*, *False Positive (FP)*, *False Negative (FN)*, dan *True Negative (TN)*. Salah satu metrik penting yang dihitung dari matriks ini adalah True Positive Rate (TPR), yang menunjukkan seberapa baik sistem dalam mendeteksi objek target secara benar. TPR yang tinggi mengindikasikan bahwa sistem memiliki sensitivitas yang baik terhadap keberadaan wajah pada citra.

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif eksperimental yang bertujuan untuk mengukur pengaruh preprocessing menggunakan CLAHE terhadap performa deteksi wajah berbasis Dlib-HOG. Penelitian dilakukan dengan pendekatan komparatif, yaitu

membandingkan performa sistem dengan penerapan CLAHE dan tanpa penerapan CLAHE.

### 3.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan beberapa perangkat lunak dan pustaka Python berikut:

Tabel 1. perangkat lunak dan pustaka Python

Nama	Versi
Python	3.10
OpenCV	4.8.0
Dlib	19.24.0
Imutils	0.5.4

Eksperimen dilakukan pada perangkat keras dengan spesifikasi berikut:

Tabel 2. Spesifikasi Perangkat Keras

Nama	Spesifikasi
Prosesor	Intel Core i5-1135G7 @ 2.40GHz
RAM	8 GB DDR4
GPU	Intel Iris Xe Graphics
OS	Windows 11 Pro 64-bit

Spesifikasi ini dipilih untuk menunjukkan bahwa metode yang digunakan dapat berjalan optimal pada perangkat dengan spesifikasi menengah. Dataset yang digunakan adalah *Labeled Faces in the Wild (LFW)* yang berisi 56 citra wajah dengan variasi ekspresi, latar belakang, dan intensitas cahaya. Dataset ini dipilih karena merepresentasikan kondisi riil pada sistem pengenalan wajah di lingkungan yang tidak terkendali.

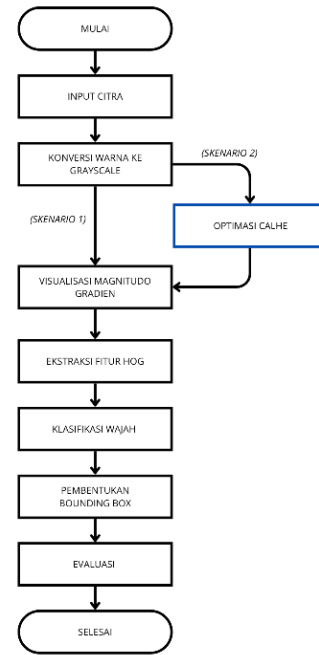
### 3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan dalam sistem deteksi wajah pada penelitian ini dimulai dengan proses input citra, di mana gambar wajah dimasukkan sebagai data masukan sistem. Selanjutnya, citra dikonversi ke format grayscale guna menyederhanakan informasi warna menjadi satu kanal intensitas, sehingga mempermudah proses ekstraksi fitur visual. Setelah itu, dilakukan preprocessing menggunakan

metode Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) untuk meningkatkan kontras lokal. CLAHE bekerja dengan membagi citra menjadi beberapa tile kecil dan melakukan histogram equalization pada masing-masing tile, sehingga fitur wajah seperti kontur mata, hidung, dan mulut menjadi lebih menonjol, terutama pada citra dengan pencahayaan rendah.

Sebagai langkah opsional, sistem dapat menerapkan reduksi noise menggunakan filter seperti Gaussian Blur atau Bilateral Filter untuk mempertahankan tepi objek sekaligus mengurangi gangguan visual. Citra hasil preprocessing kemudian diproses melalui tahap ekstraksi fitur menggunakan metode Histogram of Oriented Gradients (HOG). Metode ini menghitung arah dan intensitas gradien pada setiap bagian citra untuk membentuk deskripsi fitur lokal wajah. Fitur-fitur tersebut kemudian dianalisis oleh algoritma deteksi wajah Dlib, yang memanfaatkan *Support Vector Machine* (SVM) untuk mengklasifikasikan area citra sebagai wajah atau bukan wajah.

Jika wajah berhasil dideteksi, sistem akan menghasilkan bounding box sebagai keluaran, yang menandai posisi wajah dalam citra. Sebagai tahap akhir, dilakukan evaluasi performa sistem menggunakan confusion matrix, dengan menghitung metrik seperti True Positive Rate (TPR) untuk mengukur sensitivitas sistem terhadap keberadaan wajah.



Gambar 1 Tahapan Penelitian

### 3.3 Skenario Pengujian

Dua skenario diuji, yaitu: (1) sistem baseline tanpa preprocessing CLAHE, dan (2) sistem dengan preprocessing CLAHE. Masing-masing diuji pada dataset yang sama, menggunakan metrik evaluasi: akurasi, true positive rate (TPR), false negative rate, dan waktu eksekusi. Lengkapi dengan rumus matrik evaluasi

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil

Pada tahap ini dilakukan serangkaian pengujian terhadap sistem deteksi wajah menggunakan metode HOG pada pustaka Dlib, baik dengan maupun tanpa penerapan preprocessing CLAHE. Berikut adalah hasil deteksi wajah pada beberapa sampel citra yang dibandingkan antara sistem tanpa CLAHE dan sistem dengan CLAHE:

#### 4.1.1 Hasil Deteksi Wajah Dengan Metode HOG Tanpa Optimisasi CLAHE

Pada sistem deteksi wajah tanpa menggunakan CLAHE, proses dimulai dengan tahap pra-pemrosesan citra di mana citra input dikonversi dari ruang warna BGR menjadi citra grayscale. Konversi ini bertujuan untuk menyederhanakan informasi citra dengan menghilangkan komponen warna sehingga fokus pemrosesan diarahkan pada intensitas piksel. Penggunaan citra grayscale murni tanpa peningkatan kontras mempertahankan kondisi pencahayaan asli dari citra, sehingga hasil deteksi mengandalkan data asli tanpa modifikasi. Hasil dari tahap ini dapat diamati pada Gambar 2 yang memperlihatkan salah satu citra yang menggunakan citra grayscale asli.



Gambar 2 Hasil pra-pemrosesan citra dengan konversi ke *grayscale* tanpa CLAHE

Selanjutnya, dilakukan perhitungan gradien intensitas pada citra grayscale menggunakan operator Sobel pada arah horizontal dan vertikal. Gradien tersebut kemudian diubah menjadi magnitudo dan orientasi menggunakan transformasi kartesian ke polar. Magnitudo gradien menampilkan perubahan intensitas yang signifikan, terutama pada tepi dan kontur objek dalam citra. Visualisasi magnitudo gradien tersebut, sebagaimana terlihat pada Gambar 3, memperlihatkan area-area dengan perubahan

intensitas yang menonjol dan merupakan fitur penting untuk tahapan ekstraksi fitur berikutnya.



Gambar 3 Visualisasi magnitudo gradien pada citra grayscale tanpa CLAHE

Pada tahap ekstraksi fitur, metode HOG diaplikasikan untuk memperoleh representasi fitur lokal berdasarkan distribusi orientasi gradien dalam sel-sel citra berukuran 8x8 piksel. Citra dibagi menjadi blok berukuran 2x2 sel yang dilakukan normalisasi untuk meningkatkan ketahanan fitur terhadap perubahan pencahayaan dan variasi kecil pose. Visualisasi fitur HOG, seperti terlihat pada Gambar 4, menunjukkan pola orientasi gradien yang khas dan menyeluruh yang menjadi dasar klasifikasi wajah. Vektor fitur HOG yang dihasilkan memiliki dimensi yang cukup besar untuk merepresentasikan karakteristik tekstur wajah secara komprehensif.



Gambar 4 Visualisasi HOG pada citra grayscale tanpa CLAHE

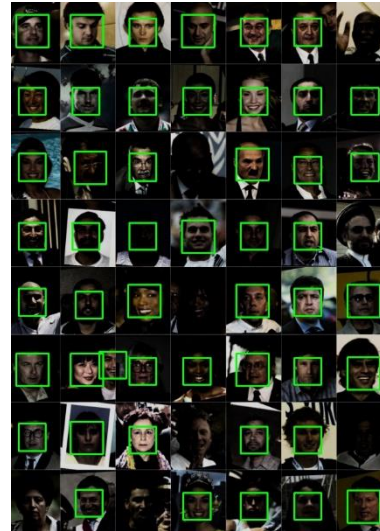


Klasifikasi wajah dilakukan menggunakan detektor berbasis HOG dan Linear *Support Vector Machine* (SVM) yang diimplementasikan dalam pustaka dlib. Detektor ini melakukan scanning multiskala pada citra RGB asli untuk mengidentifikasi wilayah yang berpotensi mengandung wajah. Hasil klasifikasi berupa koordinat bounding box yang mengelilingi wajah terdeteksi. Pada percobaan ini, proses deteksi berlangsung kurang baik karena hasil tidak menunjukkan bounding box pada citra, sebagaimana tampak pada Gambar 5



Gambar 5 Hasil deteksi wajah pada citra grayscale tanpa CLAHE

Selanjutnya dilakukan pengujian pada 55 sample lainnya yang memiliki intensitas cahaya rendah menggunakan tahapan yang sama. Berikut adalah hasil deteksi wajah pada beberapa sampel citra yang dideteksi menggunakan sistem tanpa CLAHE:



Gambar 6 Visualisasi Hasil Deteksi Wajah Pada 56 Citra Tanpa Optimasi CALHE

Secara keseluruhan, sistem deteksi wajah tanpa pra-pemrosesan CLAHE ini mampu melakukan identifikasi wajah pada beberapa sample dengan menghasilkan *bounding box*. Namun, penurunan performa terjadi apabila citra memiliki pencahayaan yang sangat kurang atau kontras rendah. Sistem mampu menghasilkan waktu rata-rata untuk mendeteksi wajah pada satu citra sebesar 0,135 detik. Dari 56 citra yang diproses menghasilkan nilai *confusion matrix* seperti tabel 3.

Tabel 3. Hasil *Confusion Matrix* Deteksi Wajah Pada 56 Citra Tanpa Optimasi CALHE

TP	TN	FP	FN
48	0	0	8

#### 4.1.2 Hasil Deteksi Wajah Dengan Metode HOG Dengan Optimisasi CALHE

Pada sistem deteksi wajah yang menerapkan metode CLAHE sebagai tahap pra-pemrosesan, sama seperti sebelumnya proses diawali dengan konversi citra dari ruang warna BGR ke *grayscale* untuk menyederhanakan informasi visual yang akan diproses. Setelah itu, dilakukan peningkatan kontras lokal menggunakan CLAHE guna

memperjelas perbedaan intensitas pada wilayah-wilayah tertentu dalam citra. CLAHE bekerja dengan membagi citra ke dalam blok-blok kecil dan menerapkan histogram *equalization* secara terbatas guna menghindari peningkatan kontras berlebihan yang dapat menghasilkan artefak. Hasil dari tahap ini ditunjukkan pada Gambar 7, yang memperlihatkan peningkatan kontras secara signifikan dibandingkan citra *grayscale* murni.



Gambar 7 Hasil pra-pemrosesan citra dengan konversi ke *grayscale* dan optimasi CLAHE

Setelah peningkatan kontras, citra hasil CLAHE digunakan untuk menghitung gradien intensitas dalam arah horizontal dan vertikal menggunakan operator Sobel. Gradien ini selanjutnya dikonversi menjadi magnitudo dan orientasi dengan pendekatan kartesian ke polar. Informasi ini penting untuk menangkap tepi dan tekstur pada wajah yang tidak selalu terlihat jelas pada citra berkontras rendah. Gambar 8 menunjukkan visualisasi magnitudo gradien hasil dari citra yang telah ditingkatkan kontrasnya, di mana kontur wajah dan fitur-fitur dominan terlihat lebih menonjol dibandingkan tanpa CLAHE.



Gambar 8 Visualisasi magnitudo gradien pada citra *grayscale* dengan optimasi CLAHE

Langkah selanjutnya adalah ekstraksi fitur menggunakan metode HOG. Proses ini membagi citra ke dalam sel-sel kecil berukuran  $8 \times 8$  piksel dan melakukan analisis orientasi gradien dalam setiap sel, kemudian dilanjutkan dengan normalisasi blok berukuran  $2 \times 2$  sel. Dengan adanya kontras yang lebih tinggi, distribusi orientasi gradien menjadi lebih jelas, sehingga menghasilkan fitur yang lebih representatif terhadap struktur wajah. Visualisasi fitur HOG pada Gambar 9 menunjukkan pola orientasi yang lebih tajam dan terdefinisi dibandingkan pada citra tanpa peningkatan kontras.

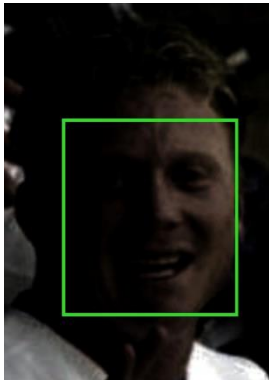


Gambar 9 Visualisasi fitur HOG pada citra *grayscale* dengan optimasi CLAHE

Fitur HOG yang telah diperoleh digunakan sebagai masukan bagi detektor wajah berbasis HOG dan Linear SVM dari pustaka *dlib*. Detektor ini melakukan pencarian multiskala pada citra RGB asli untuk

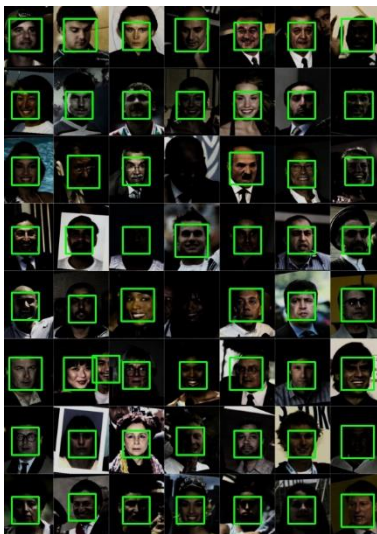


mendeteksi keberadaan wajah. Dengan fitur yang diperkuat melalui peningkatan kontras, sistem memiliki sensitivitas yang lebih tinggi terhadap keberadaan wajah, bahkan pada kondisi pencahayaan rendah. Hasil klasifikasi ditampilkan dalam bentuk *bounding box* yang mengelilingi wajah terdeteksi. Pada percobaan, hasil deteksi menunjukkan peningkatan akurasi dan keandalan dalam mengenali wajah pada berbagai kondisi, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 10



Gambar 10 Hasil deteksi wajah pada citra grayscale Menggunakan optimasi CLAHE

Selanjutnya dilakukan pengujian pada 55 sample lainnya yang memiliki intensitas cahaya rendah menggunakan tahapan yang sama. Berikut adalah hasil deteksi wajah pada beberapa sampel citra yang dideteksi menggunakan sistem dengan optimasi CLAHE:



Gambar 11 Visualisasi Hasil Deteksi Wajah Pada 56 Citra Menggunakan Optimasi CALHE

Secara keseluruhan, sistem deteksi wajah tanpa pra-pemrosesan CLAHE ini mampu melakukan identifikasi wajah pada beberapa sample dengan menghasilkan *bounding box*. Dengan mempertegas perbedaan intensitas lokal, fitur-fitur wajah menjadi lebih mudah dikenali oleh sistem, terutama pada gambar dengan pencahayaan rendah atau kontras yang buruk. Sistem mampu menghasilkan waktu rata-rata untuk mendeteksi wajah pada satu citra sebesar 0,135 detik. Dari 56 citra yang diproses menghasilkan nilai *confusion matrix* sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Confusion Matrix Deteksi Wajah Pada 56 Citra Menggunakan CALHE

TP	TN	FP	FN
54	0	0	2

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Pembahasan Hasil Deteksi Wajah Tanpa CLAHE

Berdasarkan hasil pengujian pada dataset yang terdiri dari 56 citra yang memiliki kondisi pencahayaan dan kontras yang rendah, sistem deteksi tanpa CLAHE menunjukkan performa yang optimal pada citra dengan pencahayaan rendah atau intensitas kontras yang tidak merata. Beberapa wajah gagal terdeteksi sepenuhnya (*false negative*). Berdasarkan hasil *confusion matrix* didapat nilai TPR sebagai berikut:

$$TPR = \frac{TP}{(TP + FN)} = \frac{48}{(48 + 8)} = 0,8571$$

Rata-rata akurasi deteksi sistem tanpa *preprocessing* CLAHE tercatat sebesar 85,7%, dengan tingkat *false detection* sebesar 21,4%. Fenomena ini terjadi karena sistem deteksi berbasis Histogram of

Oriented Gradients (HOG) sangat mengandalkan kejelasan kontur dan tepi dari objek wajah. Dalam kondisi pencahayaan rendah, intensitas piksel menjadi tidak merata sehingga pola gradien yang dibutuhkan untuk menghasilkan deskriptor menjadi lemah atau bahkan hilang. sistem deteksi wajah cenderung mengalami penurunan performa secara drastis ketika dihadapkan pada citra dengan pencahayaan buruk, karena tidak mampu menangkap fitur penting secara konsisten [5].

Selain itu, tidak adanya proses peningkatan kualitas citra menyebabkan fitur yang seharusnya dapat ditekankan menjadi tertutupi oleh noise atau shadow, yang berdampak langsung terhadap penurunan sensitivitas deteksi. Proses preprocessing menggunakan CLAHE mampu meningkatkan kontras lokal sehingga memperjelas struktur wajah yang sebelumnya redup atau samar[1].

Dalam konteks ini, sistem yang tidak memanfaatkan CLAHE kehilangan potensi perbaikan visual yang dapat membantu algoritma pendeteksi dalam menghasilkan bounding box yang akurat. CLAHE tidak hanya meningkatkan kualitas visual citra, tetapi juga memperbaiki akurasi deteksi tepi dan pengenalan struktur wajah, terutama pada kondisi pencahayaan yang tidak merata [4].

Dengan demikian, hasil yang diperoleh dari sistem tanpa CLAHE menggambarkan keterbatasan pendekatan konvensional dalam mendeteksi wajah pada kondisi non-ideal. Ketergantungan sistem terhadap kualitas pencahayaan mengindikasikan perlunya integrasi teknik peningkatan citra dalam pipeline deteksi untuk mencapai hasil yang lebih stabil dan akurat [8][9].

#### 4.2.2 Pembahasan Hasil Deteksi Wajah dengan Optimasi CLAHE

Berdasarkan hasil pengujian pada dataset yang terdiri dari 56 citra yang memiliki kondisi pencahayaan dan kontras yang rendah. Hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam akurasi dan keandalan deteksi wajah. Dengan penggunaan CLAHE, sistem mampu mendeteksi wajah secara lebih akurat dan konsisten, termasuk pada gambar dengan noise pencahayaan atau bayangan. Berdasarkan hasil *confusion matrix* didapat nilai TPR sebagai berikut:

$$TPR = \frac{TP}{(TP + FN)} = \frac{54}{(54 + 2)} = 0,9642$$

Nilai TPR meningkat menjadi 96,4%. Rata-rata waktu deteksi sedikit meningkat menjadi 0,162 detik per citra, namun masih berada dalam batas toleransi untuk aplikasi *real-time*. Secara teknis, CLAHE bekerja dengan cara meningkatkan kontras lokal pada setiap blok citra, tanpa memperkuat noise secara berlebihan. Teknik ini secara adaptif mengatur distribusi histogram agar fitur penting dalam citra, seperti kontur wajah, menjadi lebih menonjol meskipun berada dalam kondisi pencahayaan buruk. CLAHE mampu menyeimbangkan tingkat kontras secara lokal sehingga struktur wajah menjadi lebih terbaca oleh sistem deteksi berbasis HOG maupun CNN [1][3].

Peningkatan performa juga dapat dilihat dari konsistensi deteksi pada citra yang sebelumnya mengalami shadow atau noise intensitas. CLAHE dapat mengurangi false detection serta meningkatkan ketahanan sistem terhadap variasi kontras. Dalam konteks penelitian ini, penggunaan CLAHE tidak hanya

meningkatkan akurasi, tetapi juga mengurangi risiko kegagalan deteksi akibat hilangnya informasi visual penting pada area wajah [3].

Meski terjadi sedikit peningkatan pada waktu pemrosesan menjadi rata-rata 0,162 detik per citra, nilai ini masih berada dalam batas toleransi untuk aplikasi real-time. peningkatan waktu proses akibat preprocessing CLAHE tidak signifikan dibandingkan dengan manfaat peningkatan akurasi deteksi yang diperoleh. yang dalam konteks berbeda menemukan bahwa integrasi CLAHE tidak mengganggu efisiensi sistem secara keseluruhan, namun justru meningkatkan keandalan dalam kondisi visual yang menantang [9].

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa integrasi CLAHE dalam pipeline deteksi wajah merupakan langkah strategis yang mampu memperkuat performa sistem secara signifikan. Efektivitasnya dalam meningkatkan visibilitas fitur penting menjadikan metode ini sangat direkomendasikan untuk digunakan dalam sistem deteksi wajah di lingkungan nyata, terutama yang memiliki pencahayaan tidak ideal [10].

#### 4.2.3 Perbandingan Kinerja Sistem

Perbandingan antara sistem tanpa dan dengan CLAHE menunjukkan bahwa CLAHE memberikan kontribusi positif terhadap proses deteksi wajah berbasis Dlib-HOG. Peningkatan akurasi sebesar +12,8%, serta *penurunan false detection* sebesar -12,8%, membuktikan bahwa peningkatan kontras adaptif secara lokal pada citra dapat memperbaiki ketepatan deteksi fitur wajah.

Secara umum, sistem dengan preprocessing CLAHE lebih adaptif terhadap variasi kondisi pencahayaan, meskipun

terdapat peningkatan waktu proses sebesar 0,027 detik. Kompromi ini dapat diterima, terutama pada aplikasi yang membutuhkan keandalan lebih tinggi dibanding kecepatan absolut.

## 5. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan metode *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) sebagai tahap preprocessing efektif meningkatkan performa sistem deteksi wajah berbasis Dlib-HOG pada citra dengan pencahayaan rendah. Penerapan CLAHE meningkatkan akurasi deteksi wajah dari 85,7% menjadi 96,4%, serta mengurangi jumlah *false negative* dari 8 menjadi 2 kasus. Penambahan waktu pemrosesan sebesar 0,027 detik per citra masih dalam batas toleransi untuk aplikasi *real-time*. Dengan demikian, CLAHE dapat direkomendasikan sebagai teknik preprocessing ringan dan efisien untuk sistem deteksi wajah pada lingkungan bercahaya rendah.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Soni, L. N., & Wao, A. A. 2025. *Face detection under low-light and low-resolution conditions using contrast-limited adaptive histogram equalization and a modified convolutional neural network*. *Journal of Neonatal Surgery*, Vol 14 No 32.
- [2] Arisandi, D., Khoerunnisa, A., Subekti, R., Setiawan, A. E., & Ramdani, C. 2025. *Performance evaluation of CLAHE-enhanced edge detection on low-light faces*. *Journal of Computing Innovations and Emerging Technologies*.
- [3] Paul, K. C., & Aslan, S. 2021. *An improved real-time face recognition system at low*

- resolution based on LBPH and CLAHE. Optics and Photonics Journal, Vol 11 No 4 Hal 63–78.*
- [4] Kusnadi, A. K., Firmansyah, M. R., Prasetyo, H., & Zainudin, A. 2021. *Face detection keypoints using DCT and CLAHE. Turkish Journal of Computer and Mathematics Education, Vol 12 No 11, hal 4365–4372.*
- [5] Liang, J., Wang, J., Quan, Y., Chen, T., Liu, J., Ling, H., & Xu, Y. 2020. *Recurrent exposure generation for low-light face detection. arXiv preprint, arXiv:2006.14557.*
- [6] Wang, W., Yang, W., & Liu, J. 2021. *HLA-Face: Joint high-low adaptation for low-light face detection. arXiv preprint, arXiv:2103.11611.*
- [7] Raj, R., Pratiba, D., & Kumar, R. K. 2020. *Facial expression recognition using facial landmarks: A novel approach. Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, Vol 5 No 5, Hal 24–28.*
- [8] Abikoye, O. C., Aro, T. O., & Shoyemi, I. O. 2022. *Histogram equalization and its variants on PCA-based face-recognition system. Journal of Computer Science and Its Application, vol 26 No 2 .*
- [9] Alwakid, G., Gouda, W. P., & Humayun, M. 2023. *Deep learning-based prediction of diabetic retinopathy using CLAHE and ESRGAN for enhancement. Healthcare, Vol 11 No 6, Hal 863.*
- [10] Baihaqi, G. R., Shalsadilla, S. R., Maulidiya, A., & Muflikhah, L. 2023. *Enhancing DenseNet accuracy in retinal disease classification with contrast limited adaptive histogram equalization. Jurnal Ilmiah Teknologi dan Komputer (JITEKI), Vol 10 No 4.*