

**PERBAIKAN KUALITAS CITRA DIGITAL PADA GAMBAR YANG
GELAP UNTUK MENGIDENTIFIKASI TARGET DENGAN
METODE CLAHE (*CONTRAST LIMITED ADAPTIVE
HISTOGRAM EQUALIZATION*)**

SKRIPSI

DISUSUN OLEH

FITRI RAMADHANI

2109020118



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

MEDAN

2026

**PERBAIKAN KUALITAS CITRA DIGITAL PADA GAMBAR YANG
GELAP UNTUK MENGIDENTIFIKASI TARGET DENGAN
METODE CLAHE (*CONTRAST LIMITED ADAPTIVE
HISTOGRAM EQUALIZATION*)**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer
(S.Kom) dalam Program Studi Teknologi Informasi. Pada Fakultas Ilmu Komputer
dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara**

FITRI RAMADHANI

NPM. 2109020118

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

MEDAN

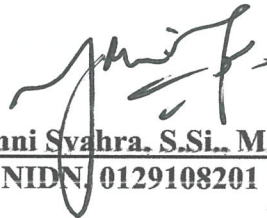
2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : PERBAIKAN KUALITAS CITRA DIGITAL PADA GAMBAR YANG GELAP UNTUK MENGIDENTIFIKASI TARGET DENGAN METODE CLAHE (*CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION*)

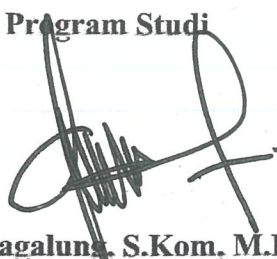
Nama Mahasiswa : FITRI RAMADHANI
NPM : 2109020118
Program Studi : TEKNOLOGI INFORMASI

Menyetujui
Komisi Pembimbing



(Yohanni Svahra, S.Si., M.Kom)
NIDN/ 0129108201

Ketua Program Studi



(Fatma Sari Hutagalung, S.Kom. M.Kom)
NIDN. 0117019301



(Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom.)
NIDN. 0127099201

PERNYATAAN ORISINALITAS

PERBAIKAN KUALITAS CITRA DIGITAL PADA GAMBAR YANG GELAP UNTUK MENGIDENTIFIKASI TARGET DENGAN METODE CLAHE (*CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION*)

SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah hasil karya sendiri, kecuali beberapa kutipan dan ringkasan yang masing-masing disebutkan sumbernya.

Medan, 9 April 2026

Yang membuat pernyataan



Fitri Ramadhani
Fitri Ramadhani

NPM. 2109020118

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fitri Ramadhani
NPM : 2109020118
Program Studi : Teknologi Informasi
Karya Ilmiah : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bebas Royalti Non-Eksekutif (*Non-Exclusive Royalty free Right*) atas penelitian skripsi saya yang berjudul:

PERBAIKAN KUALITAS CITRA DIGITAL PADA GAMBAR YANG
GELAP UNTUK MENGIDENTIFIKASI TARGET DENGAN METODE
CLAHE (*CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM*
***EQUALIZATION*)**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksekutif ini, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berhak menyimpan, mengalih media, memformat, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan Skripsi saya ini tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemegang dan atau sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Medan, 9 April 2026

Yang membuat pernyataan



Fitri Ramadhani

NPM. 2109020118

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Fitri Ramadhani
Tempat dan Tanggal Lahir : Medan, 30 November 2002
Alamat Rumah : Jl. Polonia Starban No. 22 Medan
Telepon/Faks/HP : 085719294036
E-mail : fitriramadhani090@gmail.com
Instansi Tempat Kerja : -
Alamat Kantor : -

DATA PENDIDIKAN

SD : Angkasa Lanud Soewondo TAMAT: 2009-2015
SMP : Global Prima National Plus School TAMAT: 2015-2018
SMA : Negeri 2 Medan TAMAT: 2018-2021

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Perbaikan Kualitas Citra Digital Pada Gambar Yang Gelap Untuk Mengidentifikasi Target Dengan Metode CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*) tepat pada waktunya.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik untuk memperoleh gelar Sarjana S.Kom pada Program Studi Teknologi Informasi di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Penulis menyadari bahwa perjalanan dalam menyelesaikan penelitian ini bukanlah hal yang mudah. Banyak tantangan dan hambatan yang dihadapi, namun berkat doa, dukungan, serta bantuan dari berbagai pihak, skripsi ini akhirnya dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis tentunya berterima kasih kepada berbagai pihak dalam dukungan serta doa dalam penyelesaian skripsi. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Agussani, M.AP., Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
2. Bapak Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom. Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Ibu Dr. Firaahmi Rizky, S.Kom., M.Kom. Wakil Dekan I Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Mhd. Basri, S.Si., M.Kom. Wakil Dekan III Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

5. Ibu Fatma Sari Hutagalung, S.Kom., M.Kom selaku Ketua Program Studi Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Okvi Nugroho, S.Kom., M.Kom selaku Sekretaris Program Studi Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Ibu Yohanni Syahra, S.Si., M.Kom selaku Pembimbing Skripsi. Terima kasih telah bersedia meluangkan waktu di tengah kesibukan yang padat untuk memberikan bimbingan, petunjuk, serta kritik membangun yang telah mendewasakan pola pikir penulis. Lebih dari sekadar membimbing teknis penulisan, terima kasih telah menanamkan nilai kesabaran dan ketelitian yang akan selalu penulis bawa dalam langkah-langkah selanjutnya di masa depan.
8. Kepada dua pilar utama dalam hidup saya, **Ayahanda Edi Asmata dan Ibunda Sunarti**. Terima kasih telah menjadi rumah tempat penulis pulang, menjadi pilar yang paling kokoh saat penulis hampir menyerah, dan menjadi pilar doa yang paling bisung di langit demi kelancaran langkah penulis. Skripsi ini bukan hanya sekadar pencapaian akademis bagi penulis, melainkan wujud kecil dari balasan atas setiap tetes keringat, kasih sayang yang tak bertepi, dan pengorbanan yang tak mungkin sanggup penulis hitung satu per satu."
9. Kepada Kakak dan Adik, Dita Permata Sari, Ayu Ariyanti, dan Andhika Pratama yang telah menghibur penulis serta menekan penulis agar dapat menyelesaikan skripsi ini dengan cepat.
10. Kepada Sepupu dan Teman penulis yang sudah mau mengajak penulis buat keliling Medan sebagai bentuk *refreshing* diri agar penulis tidak merasa stres dengan skripsi ini.
11. Untuk teman-teman seangkatan penulis yaitu angkatan 21, khususnya kelas TI C1 yang sudah mau berjuang selama 4 semester yang sampai akhirnya harus berpisah di semester 5 dan seterusnya, penulis merasakan sedih karena tidak bisa berjuang bersama sama tepat waktu.

12. Kepada seseorang yang sudah bersamai penulis dengan menemani, memberikan semangat, dan selalu mengingatkan penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Walaupun terkadang penulis sempat *down* karena ulahnya tetapi dibuat bangkit lagi setelahnya. Bersama nya penulis menghabiskan banyak tempat untuk bisa mengerjakan skripsi ini di cafe.
13. Kepada teman-teman angkatan 22 khususnya kelas TI C1 yang sudah menerima penulis sebagai pendatang baru di kelas tersebut dan mau mengajak penulis buat selesaikan kuliah bareng-bareng.
14. Terakhir, sebuah apresiasi paling tulus dan pelukan hangat untuk diri saya sendiri. Terima kasih karena telah menjadi satu-satunya orang yang tetap tinggal dan berjuang di saat dunia terasa begitu bising, maupun di saat keadaan menjadi begitu sunyi. Terima kasih telah memilih untuk terus melangkah, meski terkadang kaki terasa terlalu lelah untuk sekadar berpijak. Terima kasih atas setiap malam yang dihabiskan bersama tumpukan literatur dan cahaya layar monitor yang meredup, atas air mata yang jatuh dalam diam namun berubah menjadi kekuatan, serta atas keberanian untuk tetap percaya pada mimpi di saat keraguan mencoba mematahkan semangat. Kamu telah membuktikan bahwa batas kemampuanmu jauh melampaui apa yang pernah kamu takutkan sebelumnya. Skripsi ini bukan sekadar syarat kelulusan, melainkan saksi bisu dari proses pendewasaanmu. Terima kasih telah mencintai proses ini dengan segala dinamikanya kegagalan yang menempa, kritik yang membangun, dan kemenangan-kemenangan kecil yang kita raih bersama. Kamu hebat, kamu kuat, dan terima kasih telah menepati janji pada dirimu sendiri untuk sampai ke garis finis ini dengan kepala tegak, *Proud of you, self!*

**PERBAIKAN KUALITAS CITRA DIGITAL PADA GAMBAR YANG
GELAP UNTUK MENGIDENTIFIKASI TARGET DENGAN
METODE CLAHE (*CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM
EQUALIZATION*)**

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi masalah rendahnya kualitas visual pada citra digital yang disebabkan oleh pencahayaan yang minim, yang menghambat proses identifikasi objek. Metode Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) diterapkan untuk meningkatkan kontras gambar secara lokal, sekaligus mengontrol penguatan noise melalui teknik pembatasan nilai ambang atau clip limit. Pengujian dilakukan secara otomatis terhadap dataset yang terdiri dari 991 citra gelap dengan berbagai tingkat degradasi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penggunaan parameter Clip Limit sebesar 0.01 dan Tile Size 8x8 memberikan performa yang paling stabil. Secara statistik, sistem berhasil mencapai rata-rata akurasi sebesar 80,71% dengan kualitas piksel yang terjaga, yang dibuktikan melalui nilai rata-rata PSNR sebesar 20,2516 dB dan MSE sebesar 760,1315. Simpulan dari penelitian ini menegaskan bahwa algoritma CLAHE mampu meningkatkan visibilitas objek pada citra low-light secara efektif dalam skala besar. Meskipun kondisi gelap ekstrem memberikan tantangan pada akurasi matematis, secara fungsional sistem telah berhasil mengoptimalkan detail objek yang sebelumnya tidak terdeteksi menjadi dapat diidentifikasi dengan jelas.

Kata Kunci: Perbaikan Citra, Citra Gelap, CLAHE, PSNR, Akurasi.

IMPROVING DIGITAL IMAGE QUALITY IN DARK IMAGES TO IDENTIFY TARGETS USING THE CLAHE METHOD (CONTRAST-LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION)

ABSTRACT

This research aims to address the problem of low visual quality in digital images caused by low lighting, which hinders object identification. The Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) method is applied to locally enhance image contrast while simultaneously controlling noise amplification through a clip limit technique. Automatic testing was conducted on a dataset consisting of 991 dark images with varying levels of degradation. Experimental results showed that using a Clip Limit parameter of 0.01 and a Tile Size of 8x8 provided the most stable performance. Statistically, the system achieved an average accuracy of 80.71% while maintaining pixel quality, as evidenced by an average PSNR value of 20.2516 dB and an MSE of 760.1315. The conclusion of this study confirms that the CLAHE algorithm is capable of effectively improving object visibility in low-light imagery on a large scale. Although extreme darkness poses challenges to mathematical accuracy, functionally, the system successfully optimizes previously undetectable object details to clearly identify them.

Keywords: Image Enhancement, Dark Images, CLAHE, PSNR, Accuracy.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Citra	5
2.1.1 Jenis - Jenis Citra	5
2.1.2 Karakteristik Citra Digital.....	8
2.1.3 Format Citra	9
2.2 Citra Digital	10
2.3 Perbaikan Kualitas Citra (Image Enhancement).....	11
2.4 Histogram Citra	12
2.4.1. Histogram Equalization.....	13
2.4.2. Adaptive Histogram Equalization (AHE)	14
2.4.3. Perbedaan AHE dengan Histogram Equalization Konvensional	15
2.5 Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)	16
2.5.1. Prinsip Kerja CLAHE	17
2.5.2. Parameter-parameter CLAHE.....	17
2.5.3. Penerapan CLAHE pada Citra Gelap.....	18
2.6 Matlab.....	19
2.7 Penelitian Terdahulu.....	20
2.8 Analisis GAP	21

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Jenis Penelitian	22
3.2 Dataset Penelitian	22
3.3 Teknik Analisis Data	24
3.4 Persiapan Alat dan Bahan.....	25
3.5 Perancangan Sistem.....	26
3.6 Perancangan Antarmuka (GUI)	29
3.7 Jadwal penelitian	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Implementasi Sistem.....	32
4.2 Proses Pembangunan Program GUI di Matlab	33
4.3 Hasil Penelitian.....	37
4.3.1 Hasil Pengujian Data Tunggal	37
4.3.2 Hasil Pengujian Data Banyak	41
BAB V PENUTUP	44
5.1 Kesimpulan.....	44
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	20
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian.....	31

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Citra RGB.....	6
Gambar 2. 2 Citra Skala Keabuan (Grayscale)	7
Gambar 2. 3 Citra Biner	7
Gambar 2. 4 Contoh Bagian Kecil Pixel.....	8
Gambar 2. 5 Histogram Citra	12
Gambar 2. 6 Contoh CLAHE.....	16
Gambar 3. 1 Flowchart Arsitektur Sistem	27
Gambar 3. 2 Use Case Diagram.....	28
Gambar 3. 4 Gambaran Perancangan Antarmuka.....	29
Gambar 4. 1 Tampilan Utama Sistem CLAHE.....	32
Gambar 4. 2 Tampilan Source Code Implementasi Algoritma CLAHE	33
Gambar 4. 3 Source Code Fungsi Perhitungan Matriks MSE dan PSNR.....	33
Gambar 4. 4 Source Code Logika Keberhasilan.....	34
Gambar 4. 5 Source Code Fungsi Pengujian Banyak Data.....	35
Gambar 4. 6 Source Code Fungsi Keberhasilan Banyak Data	36
Gambar 4. 7 Tampilan Ketika Pilih Gambar	36
Gambar 4. 8 Tampilan Ketika Klik Run Batch.....	37
Gambar 4. 9 Foto Gelap Botol dan Hasilnya	37
Gambar 4. 10 Foto Gelap Motor dan Hasilnya	38
Gambar 4. 11 Foto Gelap Area Trotoar Bangunan dan Hasilnya	39
Gambar 4. 12 Foto Gelap Barang Indoor.....	40
Gambar 4. 13 Foto Gelap Boneka dan Hasilnya.....	41
Gambar 4. 14 Hasil Run Data Banyak dan Grafik Akurasinya	43

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pengolahan citra adalah komponen penting dalam berbagai bidang aplikasi modern, seperti sistem keamanan, analisis medis, dan navigasi otomatis. Keberhasilan dari aplikasi ini sangat bergantung pada kualitas data citra yang digunakan, terutama dalam tugas identifikasi target, di mana diperlukan detail visual yang baik untuk memastikan objek yang akurat.

Namun, muncul tantangan besar saat citra diambil dalam kondisi pencahayaan yang rendah atau gelap, seperti di malam hari. Perangkat elektronik seperti *smartphone* atau kamera digital seringkali menghasilkan citra yang *low-light*, sehingga detail objek menjadi tidak jelas dan sulit untuk dikenali. Situasi ini mengakibatkan intensitas piksel yang tidak merata, yang pada akhirnya menghalangi algoritma dalam pengenalan target dan dapat berpotensi menyebabkan kesalahan identifikasi.

Metode *Histogram Equalization* (HE) biasa telah diterapkan untuk menangani masalah kontras yang rendah. Meskipun metode ini tampak sederhana, HE memiliki kelemahan besar karena sering menghasilkan *over-enhancement* di beberapa area sekaligus menguatkan *noise*, yang justru menciptakan visual yang mengganggu proses identifikasi. Oleh karena itu, terdapat kebutuhan untuk teknik peningkatan citra yang lebih adaptif dan cerdas.

Untuk memperbaiki masalah citra gelap itu sendiri, maka peneliti menerapkan metode peningkatan kualitas citra, dimana salah satu cara efektif adalah dengan pengolahan citra menggunakan metode CLAHE (*Contrast Limited*

Adaptive Histogram Equalization). CLAHE bekerja pada tingkat lokal pada blok-blok citra (*tiles*) dan membatasi peningkatan kontras (dengan menggunakan *clip limit*) untuk secara efektif menghindari *noise* yang berlebihan, sehingga menghasilkan peningkatan kontras yang lebih merata.

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan efektivitas CLAHE misalnya, dalam studi perbandingan untuk citra jalanan dengan pencahayaan rendah, CLAHE terbukti sebagai metode yang paling efektif untuk meningkatkan visibilitas (Pratama et al., 2025). Selain itu, CLAHE juga telah diusulkan sebagai teknik *preprocessing* yang ringan dan efisien untuk sistem deteksi wajah di lingkungan yang kurang cahaya karena kemampuannya untuk meningkatkan akurasi sistem seperti Dlib-HOG (Fisika et al., 2021)

Meskipun keuntungan CLAHE telah terbukti dalam berbagai kasus, terdapat celah penelitian yang spesifik pada citra yang sangat gelap dalam konteks identifikasi target. Keterbatasan utama terletak pada studi yang secara sistematis menguji dan mengevaluasi efektivitas CLAHE secara kuantitatif pada citra yang sangat gelap yang berasal dari perangkat *smartphone* atau kamera digital, khususnya dalam hal peningkatan akurasi dan visibilitas untuk tujuan identifikasi.

Berdasarkan pertimbangan di atas, maka proposal skripsi ini akan fokus pada penerapan metode CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*) sebagai peningkat kualitas citra sehingga proposal ini berjudul **“PERBAIKAN KUALITAS CITRA DIGITAL PADA GAMBAR YANG GELAP UNTUK MENGIDENTIFIKASI TARGET DENGAN METODE CLAHE (*CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION*)”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian tersebut, permasalahan yang di temukan pada proposal skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana implementasi algoritma *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) untuk memperbaiki kualitas citra digital dengan kondisi pencahayaan rendah sehingga target dapat diidentifikasi dengan lebih baik?
2. Bagaimana efektivitas metode CLAHE dalam mengatasi permasalahan foto atau gambar yang diambil dalam kondisi pencahayaan rendah yang sering terjadi pada penggunaan *smartphone*?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan permasalahan yang dibahas agar dapat menyelesaikan permasalahan utama. Berikut batasan masalah penelitian ini

1. Citra yang diolah merupakan citra dengan kondisi pencahayaan rendah yang bersumber spesifik dari perangkat kamera digital.
2. Pengujian pengolahan citra menggunakan MATLAB.
3. Menggunakan perangkat *Smartphone* Iphone 13 Kapasitas 128 Gb.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengimplementasikan algoritma CLAHE untuk perbaikan kualitas citra digital dengan kondisi pencahayaan rendah.
2. Menganalisis dan mengukur efektivitas metode CLAHE dalam meningkatkan kualitas citra digital yang bersumber dari *smartphone* yang diambil dalam kondisi pencahayaan rendah, dibandingkan dengan citra aslinya.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan solusi praktis untuk meningkatkan kualitas citra dengan kondisi pencahayaan rendah sehingga objek atau target dalam gambar dapat diidentifikasi.
2. Dapat dijadikan sebagai referensi dan dasar pengembangan penelitian selanjutnya di bidang pengolahan citra digital.
3. Mengetahui pentingnya mempelajari cara kerja citra digital serta perubahan citra dengan metode CLAHE.
4. Aplikasi yang di gunakan bisa digunakan sebagai *tools* untuk mengolah citra dengan kondisi pencahayaan rendah.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Citra

Citra adalah gambaran visual yang dapat ditangkap oleh sistem indra manusia atau perangkat pengambil gambar seperti kamera dan sensor digital. Dalam pengolahan gambar digital, citra didefinisikan sebagai sekumpulan data numerik dalam bentuk matriks dua dimensi. Setiap matriks disebut piksel, dan setiap piksel memiliki nilai intensitas yang menunjukkan tingkat kecerahan atau warna tertentu di lokasi tertentu. (S et al., 2025) menegaskan bahwa kualitas citra sangat dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan saat proses pengambilan gambar. Citra dengan pencahayaan rendah (*low-light image*) umumnya memiliki kontras rendah dan detail yang kurang jelas, sehingga menyulitkan sistem lanjutan seperti pengenalan wajah atau analisis pola. Hal ini menunjukkan bahwa citra tidak hanya berfungsi sebagai representasi visual, tetapi juga sebagai sumber data utama dalam sistem pengolahan citra dan visi computer.

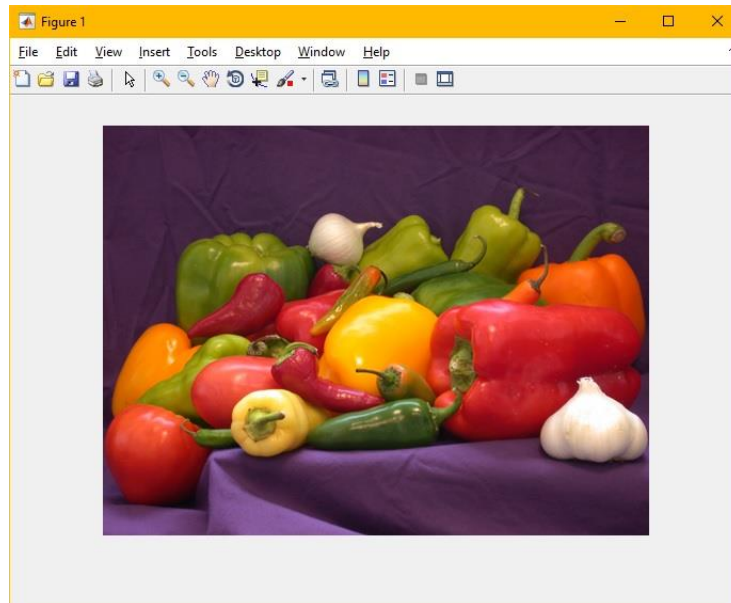
2.1.1 Jenis - Jenis Citra

Berikut adalah jenis-jenis citra berdasarkan nilai pikselnya :

1. Citra Berwarna (RGB)

Citra ini mengadopsi model warna aditif yang terdiri dari tiga saluran utama, yaitu Merah (*Red*), Hijau (*Green*), dan Biru (*Blue*). Setiap saluran memiliki rentang nilai intensitas (umumnya 0-255). Kombinasi ketiga saluran ini dapat menghasilkan jutaan variasi warna yang mendekati persepsi visual manusia. Citra RGB sangat krusial dalam

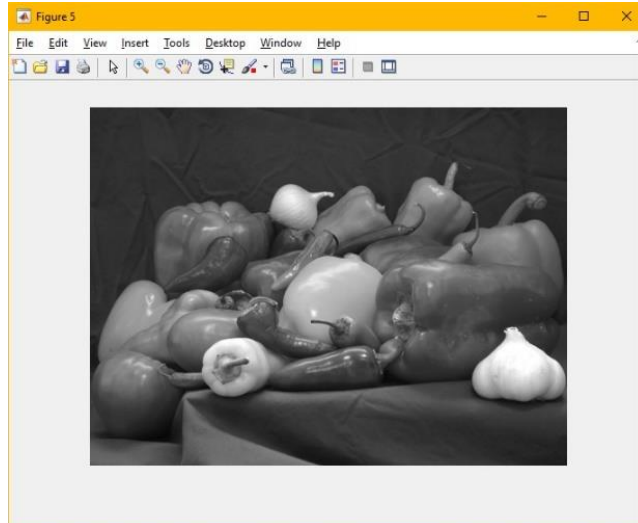
aplikasi pengenalan wajah atau deteksi target karena memberikan detail fitur yang lebih kaya dibandingkan dengan citra monokrom (Husni, n.d.)



Gambar 2. 1 Citra RGB

2. Citra Skala Keabuan (*Grayscale*)

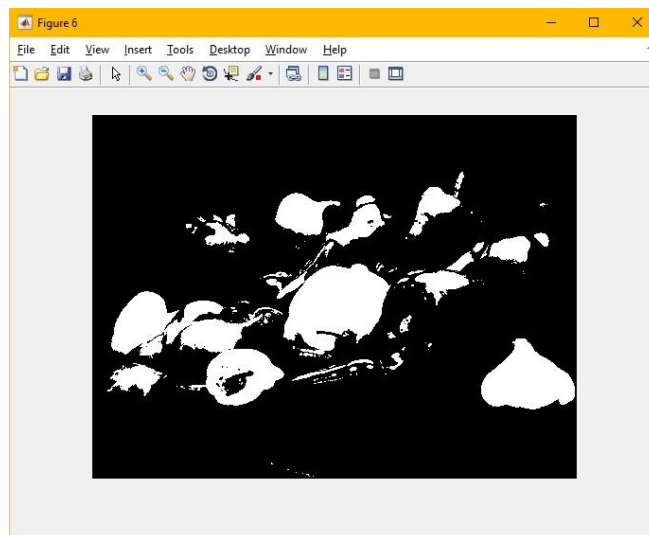
citra digital yang hanya memiliki satu nilai saluran di setiap pikselnya, yang menggambarkan intensitas cahaya atau informasi luminansi. Berbeda dengan citra berwarna (RGB) yang memiliki tiga saluran warna (merah, hijau, dan biru), citra grayscale memetakan warna dari hitam pekat (nilai terendah) hingga putih sempurna (nilai tertinggi). Citra ini hanya memiliki satu saluran informasi yang merepresentasikan tingkat kecerahan dari hitam (0) hingga putih (255). Proses transformasi citra berwarna menjadi bentuk grayscale sering kali merupakan langkah awal yang diperlukan dalam sistem visi komputer untuk mengurangi kompleksitas komputasi (Kusnadi *et al.*, 2022).



Gambar 2. 2 Citra Skala Keabuan (Grayscale)

3. Citra Biner

Citra ini memiliki kedalaman hanya 1 bit, yang berarti setiap pikselnya hanya memiliki dua kemungkinan nilai : 0 (hitam) dan 1 (putih). Citra biner biasanya digunakan dalam tahap akhir segmentasi setelah proses perbaikan kontras, di mana target harus sepenuhnya dipisahkan dari latar belakang untuk dihitung atau diidentifikasi dimensinya.



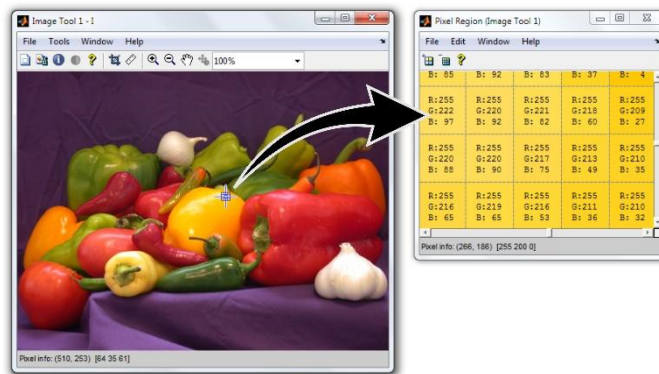
Gambar 2. 3 Citra Biner

2.1.2 Karakteristik Citra Digital

1. Piksel (Elemen Gambar)

Piksel adalah elemen terkecil dalam citra digital yang memiliki koordinat (x, y) dan nilai intensitas tertentu. Setiap piksel menyimpan informasi tentang warna atau tingkat kecerahan yang secara keseluruhan membentuk sebuah visual yang utuh. Pada citra yang gelap, nilai-nilai pada piksel ini biasanya sangat rendah (mendekati nol), sehingga perbedaan antar piksel (kontras) menjadi tidak terlihat dengan jelas dan menyulitkan proses identifikasi (Al Hafiz et al., 2025).

2. Resolusi



Gambar 2. 4 Contoh Bagian Kecil Pixel

Resolusi menunjukkan tingkat detail yang dimiliki oleh sebuah citra digital. Semakin tinggi resolusi, semakin banyak jumlah piksel yang membentuk citra tersebut, sehingga detail target akan tampak lebih halus dan tajam. Resolusi spasial yang rendah pada citra yang gelap sering kali menyebabkan munculnya noise yang lebih dominan saat dilakukan proses penguatan kontras menggunakan metode seperti CLAHE (Ginting et al., 2022)

Ukuran citra berkaitan erat dengan dimensi panjang dan lebar dalam satuan piksel (misalnya 1920 x 1080). Ukuran ini menentukan beban komputasi dalam proses perbaikan kualitas. Citra dengan ukuran besar memerlukan waktu pemrosesan yang lebih lama, namun menyediakan ruang data yang lebih luas untuk dianalisis guna mencapai akurasi identifikasi target yang lebih tinggi (S et al., 2025)

2.1.3 Format Citra

1. JPEG/JPG (*Joint Photographic Experts Group*)

Menggunakan kompresi lossy yang efisien untuk menghemat ruang penyimpanan, meskipun dapat mengurangi detail halus akibat proses kuantisasi.

2. PNG (*Portable Network Graphics*)

Mendukung kompresi lossless, yang menjaga ketajaman tepi dan akurasi fitur, sangat direkomendasikan untuk prapemrosesan citra (Nasution, 2020).

3. BMP/TIFF (*Bitmap / Tagged Image File Format*)

Format tanpa kompresi yang menyimpan seluruh informasi intensitas asli dari sensor kamera. Format ini sangat presisi dan sering digunakan dalam penginderaan jauh atau medis karena keaslian data numeriknya tetap terjaga (Zakaria et al., 2019)

2.2 Citra Digital

Citra digital adalah hasil transformasi dari citra analog (kontinu) ke dalam format diskrit melalui proses sampling dan quantization, sehingga dapat disimpan dan diproses oleh sistem komputer. Secara matematis, citra digital dinyatakan sebagai fungsi intensitas cahaya dua dimensi (x, y) , di mana nilai koordinat (x, y) menentukan posisi spasial (baris dan kolom), sedangkan nilai f pada titik tersebut menunjukkan besaran intensitas cahaya atau warna yang terekam. Satuan terkecil yang menyimpan informasi intensitas ini disebut piksel (picture element). Semakin banyak piksel yang membentuk sebuah gambar, maka representasi visual objek akan semakin mendekati bentuk aslinya (Putra et al., 2025)

Kumpulan piksel ini terorganisir dalam bentuk matriks dua dimensi yang dikenal sebagai array. Pengolahan citra digital (digital image processing) adalah disiplin ilmu yang menggunakan berbagai algoritma matematika dan komputer untuk memanipulasi nilai-nilai dalam matriks tersebut. Fokus utamanya meliputi perbaikan kualitas visual (image enhancement) untuk memperjelas fitur objek, serta restorasi citra untuk menghilangkan gangguan. Dalam penelitian ini, pengolahan citra menjadi sangat penting untuk mengatasi masalah degradasi visual pada gambar yang gelap, sehingga target yang terdapat di dalamnya dapat diidentifikasi secara akurat oleh sistem (Ashillah et al., 2025)

Citra digital dikelompokkan berdasarkan jumlah bit yang digunakan untuk merepresentasikan setiap piksel. Pada citra dengan resolusi tinggi, detail spasial menjadi lebih tajam karena kerapatan piksel yang lebih besar.

2.3 Perbaikan Kualitas Citra (Image Enhancement)

Peningkatan citra atau perbaikan kualitas citra adalah salah satu teknik dalam pengolahan citra digital yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas visual citra agar lebih mudah dipahami oleh manusia atau lebih sesuai untuk analisis lebih lanjut. Proses ini dilakukan dengan memodifikasi nilai-nilai piksel pada citra untuk memperbaiki karakteristik tertentu seperti kontras, kecerahan, ketajaman, atau mengurangi noise yang ada pada citra.

Menurut (Ashillah et al., 2025), perbaikan kualitas citra adalah proses mengubah atau memanipulasi citra untuk menghasilkan citra yang lebih baik dan lebih sesuai dengan kebutuhan, baik untuk visualisasi maupun untuk analisis lebih lanjut. Teknik ini sangat penting terutama ketika citra yang diperoleh memiliki kualitas rendah akibat kondisi pencahayaan yang buruk, noise, atau faktor lingkungan lainnya.

(S et al., 2025) menambahkan bahwa teknik peningkatan kualitas citra seperti histogram equalization dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas visual citra yang mengalami degradasi, seperti pada foto-foto lama yang mengalami penurunan kualitas warna dan kontras seiring waktu.

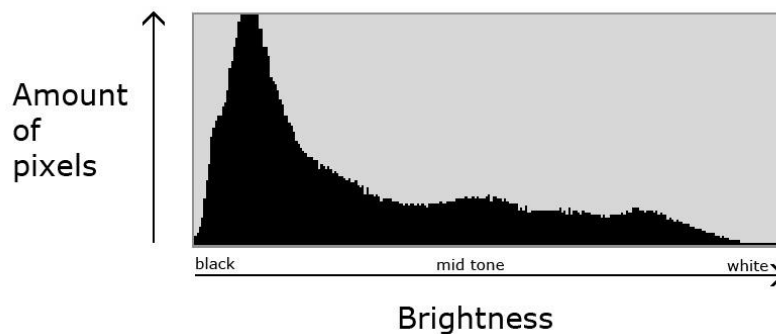
Dalam metode ini, transformasi kontras dihitung secara spesifik untuk setiap blok atau bagian kecil dari citra, sehingga detail lokal pada area gelap dapat dimunculkan secara optimal tanpa terlalu memengaruhi area terang lainnya (Attaqwa et al., 2024).

Namun, perlu diperhatikan bahwa teknik peningkatan kualitas citra secara lokal ini memiliki kelemahan intrinsik, yaitu adanya kecenderungan untuk memperkuat noise yang signifikan, terutama pada area yang memiliki warna seragam atau homogen.

2.4 Histogram Citra

Histogram citra adalah representasi grafis yang menunjukkan distribusi frekuensi kemunculan nilai intensitas piksel dalam citra digital. Histogram ini menampilkan informasi mengenai jumlah piksel yang memiliki nilai intensitas tertentu, dengan sumbu horizontal merepresentasikan nilai intensitas (0-255 untuk citra 8-bit) dan sumbu vertikal menunjukkan jumlah atau frekuensi piksel pada setiap nilai intensitas tersebut.

Kusnadi *et al.*, 2022 menjelaskan bahwa histogram adalah grafik yang menggambarkan penyebaran nilai-nilai intensitas piksel dari suatu citra, di mana histogram dapat memberikan informasi tentang karakteristik kecerahan dan kontras dari citra tersebut.



Gambar 2. 5 Histogram Citra

Keterangan dari gambar histogram antara lain :

- Gambar akan terlihat lebih gelap jika histogram condong ke kiri dan akan terlihat lebih terang jika ke arah kanan.
- Gambar akan mengalami kontras yang rendah jika hasil histogram mengumpul di suatu tempat, sedangkan gambar akan mengalami kontras yang tinggi jika hasil histogram merata di semua tempat.

- Indikasi y axis menunjukkan jumlah pixel dalam suatu citra, semakin tinggi maka semakin besar jumlah pixel pada histogram.
- Indikasi x axis menunjukkan penerangan dari citra semakin condong ke kanan maka semakin terang citra tersebut.

2.4.1. *Histogram Equalization*

Peningkatan histogram atau *histogram equalization* adalah teknik untuk memperbaiki citra yang bertujuan mendistribusikan nilai intensitas piksel secara merata di seluruh rentang nilai yang ada. (S et al., 2025) menyatakan bahwa "Peningkatan histogram adalah metode yang efektif untuk meningkatkan kontras citra dengan meratakan distribusi histogram, sehingga citra yang awalnya gelap atau memiliki kontras rendah dapat ditingkatkan kualitas visualnya."

(Putra et al., 2025) menambahkan bahwa "Pemerataan histogram dilakukan dengan memetakan nilai intensitas piksel pada citra input ke nilai intensitas baru sehingga distribusi histogram menjadi lebih merata dan kontras citra meningkat."

1. Kelebihan
 - a. Mudah dan sederhana untuk diterapkan
 - b. Efektif dalam meningkatkan kontras global citra
 - c. Dapat mengungkapkan detail yang tersembunyi pada citra yang gelap
2. Kekurangan:
 - a. Dapat menyebabkan peningkatan berlebihan pada beberapa area
 - b. Tidak mempertimbangkan karakteristik lokal citra

2.4.2. *Adaptive Histogram Equalization (AHE)*

Adaptive Histogram Equalization (AHE) adalah pengembangan dari metode histogram equalization konvensional yang ditujukan untuk mengatasi keterbatasan histogram equalization global. AHE melakukan pemerataan histogram secara lokal pada setiap region atau tile dalam citra, sehingga dapat meningkatkan kontras detail lokal dengan lebih baik.

(Pratama et al., 2025) menjelaskan bahwa AHE merupakan metode peningkatan kontras yang bekerja dengan membagi citra menjadi beberapa region kecil dan melakukan histogram equalization pada setiap region tersebut secara terpisah, sehingga mampu meningkatkan detail lokal yang tidak dapat ditingkatkan oleh histogram equalization konvensional.

Prinsip kerja AHE meliputi beberapa tahapan :

1. Pembagian Citra

Citra dibagi menjadi grid atau tile-tile kecil dengan ukuran tertentu (misalnya 8×8 atau 16×16 piksel).

2. Histogram Equalization Lokal

Setiap tile diproses secara independen menggunakan histogram equalization.

3. Interpolasi

Untuk menghindari efek blocking atau diskontinuitas antar tile, dilakukan interpolasi bilinear pada batas-batas antar tile.

2.4.3. Perbedaan AHE dengan Histogram Equalization Konvensional

Perbedaan mendasar antara AHE dan histogram equalization konvensional terletak pada cara pengolahan citra :

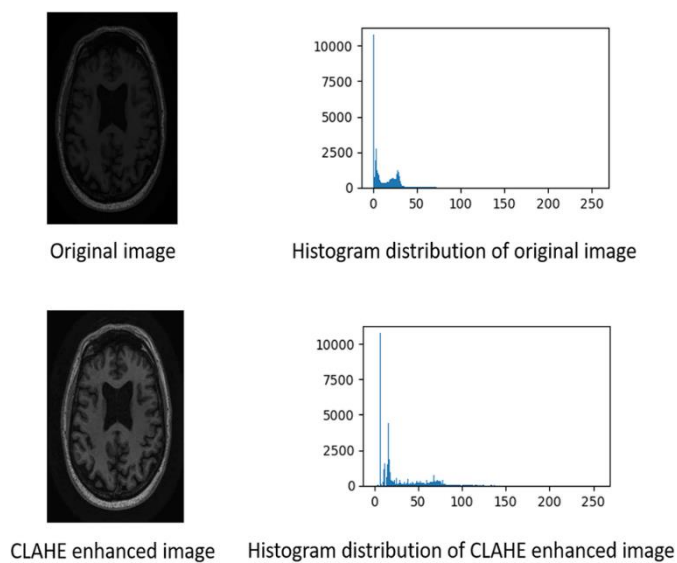
1. *Histogram Equalization Konvensional* : Melakukan pemerataan histogram secara global pada seluruh citra menggunakan satu fungsi transformasi yang sama untuk semua piksel. Hal ini sering mengakibatkan peningkatan kontras yang berlebihan (*over-enhancement*) pada area yang sudah cukup terang, sehingga detail pada area tersebut hilang dan *noise* pada area gelap ikut diperkuat secara tidak proporsional
2. *Adaptive Histogram Equalization (AHE)* : Melakukan pemerataan histogram secara lokal dengan membagi citra menjadi region-region kecil (*tiles*) dan menerapkan histogram equalization pada setiap region secara independen. Transformasi kontras dihitung secara spesifik untuk setiap blok, sehingga detail lokal pada area gelap dapat dimunculkan tanpa terlalu memengaruhi area terang lainnya. Namun, kelemahannya adalah kecenderungan memperkuat *noise* yang signifikan pada area yang memiliki warna seragam atau homogen

(Putra et al., 2025) menyatakan bahwa perbedaan utama AHE dengan metode konvensional adalah kemampuannya untuk memproses citra secara adaptif berdasarkan karakteristik lokal setiap region, sehingga detail pada area gelap dan terang dapat ditingkatkan secara bersamaan tanpa kehilangan informasi.

2.5 Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)

Metode *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)* adalah pengembangan dari teknik *Histogram Equalization (HE)* dan *Adaptive Histogram Equalization (AHE)*. Teknik ini dirancang khusus untuk mengatasi keterbatasan metode HE konvensional yang sering kali menghasilkan kontras berlebihan (*over-enhancement*) dan memperkuat gangguan berupa noise pada area citra yang relatif seragam (Pratama et al., 2025)

Berbeda dengan HE yang beroperasi secara global pada seluruh piksel citra, CLAHE berfungsi secara lokal dengan membagi citra menjadi blok-blok kecil yang disebut *tiles* atau *contextual regions*. Setiap blok ini kemudian dihitung histogramnya secara terpisah (Ketut et al., 2022). Pendekatan lokal ini memungkinkan CLAHE untuk meningkatkan kontras pada setiap bagian citra secara proporsional sesuai dengan karakteristik distribusi intensitas di area tersebut (Contrast et al., n.d.). Ini sangat efektif untuk citra yang memiliki distribusi cahaya tidak merata, seperti citra medis atau gambar yang diambil dalam kondisi gelap.



Gambar 2. 6 Contoh CLAHE

2.5.1. Prinsip Kerja CLAHE

CLAHE berfungsi dengan membagi citra menjadi area-area kecil yang dikenal sebagai *tiles* atau *contextual regions*. Setiap *tile* kemudian menjalani proses *histogram equalization* secara terpisah dengan membatasi amplifikasi kontras melalui *clip limit*. Pembatasan ini dilakukan dengan memotong histogram pada nilai *clip limit* tertentu dan mendistribusikan kembali piksel yang terpotong secara merata ke seluruh bin histogram (Irawan et al., 2019).

(Saifullah & Kunci, 2019) menyatakan bahwa "Prinsip kerja CLAHE adalah dengan membagi citra menjadi grid berukuran tertentu, melakukan histogram equalization pada setiap grid dengan pembatasan kontras, kemudian menggabungkan kembali hasil dari setiap grid menggunakan interpolasi bilinear untuk menghindari efek blocking."

(Pratama et al., 2025) menambahkan bahwa "CLAHE melakukan peningkatan kontras secara adaptif dengan mempertimbangkan karakteristik lokal dari setiap region dalam citra, sehingga menghasilkan peningkatan yang lebih natural dan detail yang lebih baik dibandingkan metode histogram *equalization* global."

2.5.2. Parameter-parameter CLAHE

1. *Clip Limit*

Clip limit merupakan parameter yang mengatur tingkat maksimum amplifikasi kontras yang diperbolehkan. Nilai clip limit yang lebih tinggi akan menghasilkan kontras yang lebih tinggi, tetapi juga dapat meningkatkan noise.

(Ginting et al., 2022) melakukan penelitian mengenai "nilai optimal clip limit metode CLAHE untuk meningkatkan akurasi pengenalan wajah pada video CCTV, di mana nilai clip limit yang tepat dapat meningkatkan kualitas citra tanpa menimbulkan efek over-enhancement yang berlebihan."

2. *Tile Size (Grid Size)*

Tile size atau ukuran grid menentukan ukuran area lokal yang akan diproses secara terpisah. Ukuran tile yang lebih kecil memberikan adaptasi yang lebih lokal, tetapi dapat meningkatkan waktu komputasi dan risiko efek blocking.

(Pratama et al., 2025) dalam penelitiannya membandingkan berbagai konfigurasi tile size dan menemukan bahwa "pemilihan ukuran tile yang tepat sangat mempengaruhi hasil peningkatan citra, di mana tile yang terlalu kecil dapat menyebabkan noise berlebihan sedangkan tile yang terlalu besar mengurangi efektivitas adaptasi lokal."

2.5.3. Penerapan CLAHE pada Citra Gelap

CLAHE sangat berguna untuk memperbaiki kualitas citra yang berada dalam kondisi pencahayaan rendah atau citra gelap. Yustiantara *et al.* (2021) dalam studi mereka mengenai "Peningkatan citra gestur tangan dari CCTV menggunakan CLAHE" menyimpulkan bahwa "CLAHE dapat meningkatkan visibilitas dan detail pada citra dengan pencahayaan rendah, sehingga meningkatkan akurasi deteksi gestur tangan."

(Riana et al., 2022) juga menggunakan CLAHE untuk "Peningkatan kualitas citra *X-Ray* paru-paru pasien Covid-19 dan menemukan bahwa metode ini efektif dalam meningkatkan kontras serta detail anatomis yang penting untuk diagnosis medis."

Nuraisha (2021) menjelaskan bahwa "Penerapan CLAHE pada citra dengan pencahayaan rendah dapat mengungkap detail yang tersembunyi dan meningkatkan kemampuan identifikasi objek atau pola dalam citra tersebut."

2.6 Matlab

MATLAB (Laboratorium Matriks) adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi dan lingkungan komputasi interaktif yang dikembangkan oleh *MathWorks*. MATLAB dirancang khusus untuk komputasi numerik, analisis data, visualisasi, dan pengembangan algoritma. Dalam bidang pengolahan citra digital, MATLAB menawarkan berbagai toolbox dan fungsi bawaan yang memudahkan penerapan algoritma pemrosesan citra.

MATLAB menggunakan pendekatan berbasis matriks dalam melakukan operasi komputasi, yang sangat sesuai dengan karakteristik citra digital yang pada dasarnya merupakan representasi matriks dua dimensi atau tiga dimensi.

MATLAB menyediakan fungsi bawaan untuk implementasi metode CLAHE, yaitu fungsi *adapthisteq()*. Fungsi ini memudahkan penerapan CLAHE pada citra digital dengan berbagai parameter yang dapat disesuaikan sesuai kebutuhan. (Ginting et al., 2022) dalam penelitiannya menggunakan MATLAB untuk "Mengimplementasikan metode CLAHE dengan memanfaatkan fungsi *adapthisteq* yang tersedia pada Toolbox Pengolahan Citra, di mana parameter clip limit dan tile size dapat disesuaikan untuk mendapatkan hasil optimal."

2.7 Penelitian Terdahulu

Dalam penulisan penelitian ini, acuan dari penelitian sebelumnya sangat penting untuk memperluas pengetahuan dan wawasan peneliti, serta untuk meningkatkan kualitas penelitian yang sedang dilakukan.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti (Tahun)	Judul	Hasil Penelitian
1	Kusnadi, Khoirul; Riana, Dwiza; & Syahrani, Maulana (2022)	Pengelolaan Citra Digital dengan Menggunakan Metode Transformasi <i>Grayscale</i> dan Pemerataan Histogram	Metode histogram equalization dapat meningkatkan kualitas citra dengan meratakan distribusi histogram, sehingga kontras citra meningkat
2	Al Hafiz, Ahmad Yani; Nasution, Ananda Kurnia; Sitepu, Aldi Dwi; & Syahputra, Hendrawan (2025)	Implementasi Teknik <i>Histogram Equalization</i> untuk Meningkatkan Kualitas Citra pada Foto Lama yang Pudar	Histogram equalization efektif meningkatkan kualitas foto lama yang mengalami degradasi warna dan kontras

3	Ginting, Darmawan; Simanjuntak, Magdalena; & Saragih, Rusmin (2022)	Reduksi Noise pada Citra Menggunakan Metode <i>Contrast Limited</i> <i>Adaptive Histogram</i> <i>Equalization</i>	CLAHE efektif untuk mengurangi noise pada citra dengan membatasi amplifikasi kontras melalui clip limit
4	Hidayat, Jufri; Usman, Ahmad; Faisal, Ahmad; & Syafriwel (2020)	Perbandingan Metode HE, AHE, dan CLAHE untuk Peningkatan Citra MRI Otak	CLAHE menghasilkan peningkatan kualitas terbaik dibandingkan HE dan AHE pada citra MRI otak dengan PSNR dan SSIM lebih tinggi
5	Nasution, Dedy Lenggo (2020)	Perbaikan Kualitas Citra Maps Menggunakan Metode <i>Contrast Limited</i> <i>Adaptive Histogram</i> <i>Equalization (CLAHE)</i>	CLAHE berhasil meningkatkan kualitas citra maps dengan kontras lebih baik dan detail lebih jelas

2.8 Analisis GAP

Meskipun (S et al., 2025) dan (Zakaria et al., 2019) telah membandingkan berbagai metode, perbandingan tersebut belum fokus pada kondisi citra gelap sebagai objek utama. Belum ada analisis mendalam tentang keunggulan spesifik CLAHE dibandingkan histogram equalization konvensional dalam konteks identifikasi target pada citra dengan pencahayaan rendah.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam kategori penelitian eksperimental kuantitatif dengan pendekatan penelitian terapan. Pemilihan jenis penelitian ini didasarkan pada karakteristik, tujuan, dan metodologi yang digunakan untuk menerapkan dan mengevaluasi efektivitas metode CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*) dalam meningkatkan kualitas citra digital pada kondisi pencahayaan rendah, terutama dalam konteks identifikasi target atau objek pada citra.

Menentukan jenis penelitian adalah aspek dasar yang mempengaruhi seluruh desain penelitian, mulai dari cara pengumpulan data, instrumen yang digunakan, teknik analisis, hingga interpretasi hasil. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang jenis penelitian yang dipilih sangat penting untuk memastikan bahwa metodologi yang diterapkan sesuai dengan permasalahan yang ingin dipecahkan dan tujuan yang ingin dicapai.

3.2 Dataset Penelitian

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra digital yang diambil dalam kondisi pencahayaan rendah (*low-light image*) secara langsung oleh peneliti dengan menggunakan *Smartphone*. Tujuan dari penggunaan dataset yang diambil sendiri adalah untuk memastikan bahwa data yang diperoleh sesuai dengan kebutuhan penelitian, terutama dalam konteks peningkatan kualitas citra gelap melalui metode *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE).

Metode pengambilan sampel dalam penelitian ini menggunakan teknik *purposive sampling*, yaitu pemilihan sampel berdasarkan kriteria tertentu yang relevan dengan tujuan penelitian. Kriteria citra yang digunakan sebagai dataset adalah sebagai berikut :

1. Citra diambil dalam kondisi pencahayaan rendah atau pada malam hari.
2. Objek dalam citra adalah objek umum, seperti benda di dalam ruangan, jalan, lingkungan sekitar, dan objek non-spesifik lainnya.
3. Format citra adalah JPG, JPEG atau PNG.
4. Jumlah dataset yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebanyak 1000 data citra digital, yang terdiri dari:
 - Citra indoor (di dalam ruangan dengan pencahayaan rendah)
 - Citra outdoor (lingkungan luar ruangan pada malam hari atau dalam kondisi minim cahaya)

Citra diambil dari dataset *Kaggle* dan diambil sendiri oleh peneliti menggunakan *Smartphone* dengan pengaturan standar, sehingga menghasilkan variasi tingkat kegelapan, noise, dan kontras yang berbeda-beda. Variasi ini diperlukan untuk menguji konsistensi dan efektivitas metode CLAHE dalam meningkatkan kualitas citra pada berbagai kondisi pencahayaan rendah.

Dataset yang telah diperoleh kemudian digunakan sebagai input utama dalam proses pengolahan citra, mulai dari tahap preprocessing, penerapan algoritma CLAHE, hingga evaluasi menggunakan parameter *Mean Square Error (MSE)* dan *Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)*.

3.3 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini bertujuan untuk menilai efektivitas metode Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) dalam meningkatkan kualitas citra pada kondisi cahaya rendah. Analisis dilakukan secara kuantitatif dengan membandingkan citra asli (input) dan citra hasil perbaikan (output) menggunakan dua parameter utama, yaitu :

1. Mean Square Error (MSE)

MSE digunakan untuk menghitung rata-rata selisih kuadrat antara nilai piksel citra asli dan citra hasil proses. Semakin kecil nilai MSE, semakin mirip citra hasil dengan citra referensi (meminimalisir kesalahan).

Rumus MSE adalah sebagai berikut :

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [I(i, j) - K(i, j)]^2$$

Keterangan :

- M, N : Dimensi citra (baris dan kolom).
- I(i,j) : Nilai piksel citra asli.
- K(i,j) : Nilai piksel citra hasil perbaikan.

Kriteria keberhasilan pada parameter MSE yaitu :

- Ketika MSE ber nilai rendah ($0 \leq MSE \leq 100$) maka parameter dikatakan berhasil.
- Ketika MSE ber nilai tinggi ($MSE \geq 500$) maka parameter dikatakan gagal

2. Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

PSNR digunakan untuk mengukur tingkat kualitas citra hasil perbaikan dalam satuan Desibel (dB). Semakin tinggi nilai PSNR, maka semakin baik kualitas citra yang dihasilkan karena tingkat derau (*noise*) yang rendah. Rumus PSNR adalah :

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right)$$

Keterangan:

- MAX : Nilai maksimum piksel.
- MSE : Hasil perhitungan Mean Square Error.

Kriteria keberhasilan pada parameter PSNR yaitu :

- Ketika PSNR ber nilai tinggi (PSNR > 30dB) maka parameter dikatakan Optimal
- Ketika PSNR ber nilai 20 – 30 dB maka parameter dikatakan Cukup
- Ketika PSNR ber nilai rendah (PSNR < 20 dB) maka parameter dikatakan terlalu banyak *noise*.

3.4 Persiapan Alat dan Bahan

Perangkat yang disiapkan untuk menjalankan penelitian ini adalah alat komunikasi yang mempunyai kamera yaitu *Smartphone*. Hasil gambarnya akan diperlukan sebagai objek yang akan diteliti, matlab sebagai alat dan tempat untuk melakukan proses pengolahan citra, serta laptop sebagai alat input untuk

mengerjakan program. Semua proses ini memiliki interaksi baik sebagai hardware dan software.

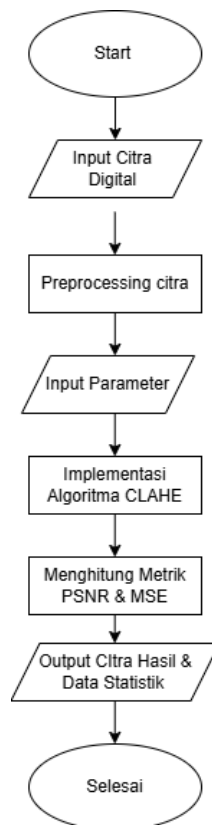
Untuk spesifikasi alat yang akan di gunakan adalah sebagai berikut :

1. Hardware
 - a. *Smartphone* Iphone 13 Kapasitas 128 GB.
 - b. Laptop HP 240 G8 Notebook, IntelI CoreI i3-1005G1 CPU sebagai alat edit dan alat untuk memproses informasi yang di kerjakan.
2. Software
 - a. Kamera, berfungsi untuk menangkap, memproses, dan menyimpan gambar yang di tangkap.
 - b. Draw.io, berfungsi untuk merancang atau mendesain flowchart serta use case.
 - c. Matlab, berfungsi untuk membuat program aplikasi pengolah gambar gelap menjadi terang.

3.5 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dalam penelitian ini bertujuan untuk menciptakan aplikasi yang dapat meningkatkan kualitas citra digital dalam kondisi pencahayaan rendah dengan menggunakan metode *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)*. Sistem ini dirancang menggunakan GUI Matlab.

GUI yang dikembangkan berfungsi untuk menerima input citra gelap, melakukan proses peningkatan kualitas citra dengan algoritma CLAHE, serta menampilkan hasil pengolahan dalam bentuk citra yang telah diperbaiki beserta nilai evaluasi *Mean Square Error* (MSE) dan *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR).



Gambar 3. 1 Flowchart Arsitektur Sistem

3.5.1 Arsitektur Sistem

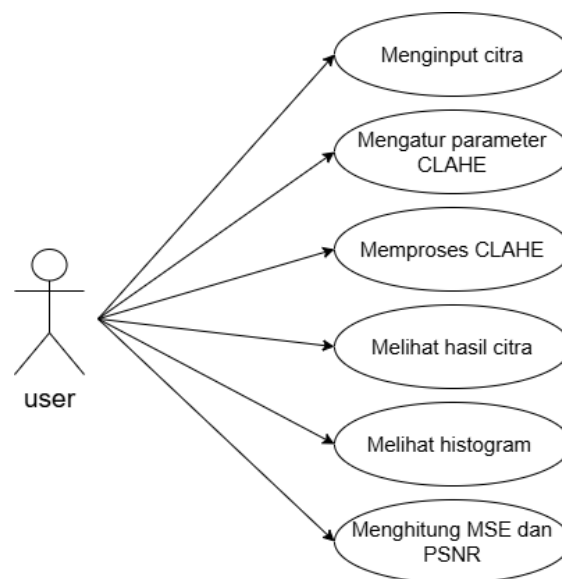
Arsitektur sistem dirancang sebagai aplikasi desktop yang beroperasi secara lokal di komputer pengguna. Sistem ini terdiri dari tiga komponen utama, yaitu:

1. Input data

- Pengguna mengunggah citra digital dalam format JPG, JPEG atau PNG.
- Citra yang dimaksud adalah citra dengan kondisi pencahayaan yang rendah.

2. Proses pengolahan citra
 - Preprocessing citra.
 - Pengaturan parameter clip limit dan tile grid size.
 - Perhitungan nilai MSE dan PSNR.
3. Output sistem
 - Menampilkan citra hasil peningkatan kualitas.
 - Menampilkan nilai evaluasi MSE dan PSNR.

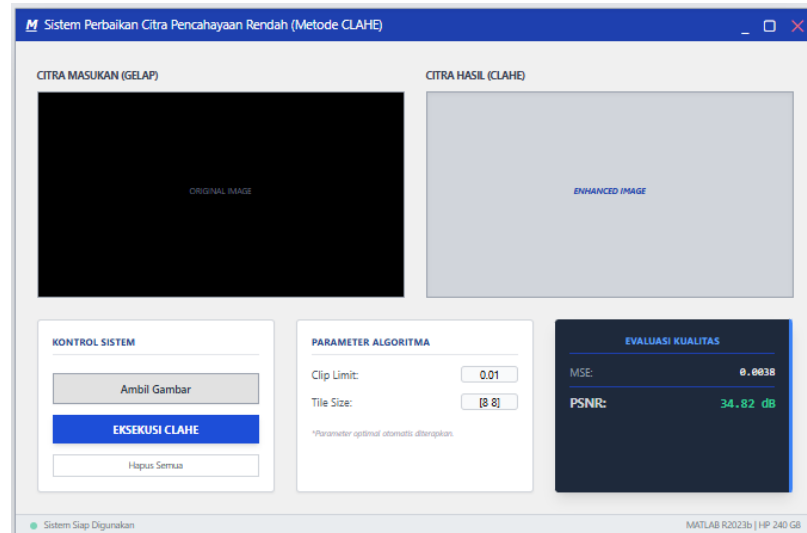
3.5.2 Use Case Diagram



Gambar 3. 2 Use Case Diagram

3.6 Perancangan Antarmuka (GUI)

Berikut dibawah adalah gambaran aplikasi yang penguji akan kerjakan di python :



Gambar 3. 3 Gambaran Perancangan Antarmuka

Pada gambaran aplikasi diatas kita dapat melihat ada beberapa proses yang akan dijalankan pada aplikasi tersebut. Proses – proses diatas dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Tombol ambil gambar, ketika user menekan tombol ini user akan di bawa ke file explorer untuk memilih citra atau *image* yang akan di pilih yang berformat *.jpg*, *.png*. Foto yang akan di pilih nantinya akan di tampilkan pada sebelah kiri.
2. Tombol eksekusi CLAHE, ketika user menekan tombol ini foto tersebut akan melalu tahap pemrosesan yang dimana akan mengubah citra RGB menjadi *Grayscale*. Kemudian Menerapkan pembagian *Tiles* dan *Clip Limit*, sehingga akan terkakulasi hasil nilai MSE dan PSNR secara otomatis.

Hasil citra yang sudah terang akan ditampilkan pada panel sebelah kanan dan nilai metrik evaluasi akan muncul pada panel Hasil Pengujian.

3. Tombol hapus semua, proses menghilangkan citra dan angka hasil evaluasi yang ada di layar agar peneliti dapat melakukan pengujian pada sampel citra berikutnya tanpa ada sisa data dari pengujian sebelumnya.
4. Input parameter algoritma, bagian ini berfungsi sebagai kontrol bagi peneliti dalam melaksanakan eksperimen ilmiah. Peneliti dapat memasukkan variasi nilai pada parameter seperti Clip Limit dan ukuran Tiles. Fleksibilitas ini memberikan kesempatan kepada peneliti untuk mengamati perilaku algoritma CLAHE secara dinamis dan melakukan iterasi pengujian untuk menemukan kombinasi parameter yang menghasilkan perbaikan citra paling optimal, baik dari segi visual maupun statistik (metrik PSNR/MSE)

3.7 Jadwal penelitian

Setiap rancangan penelitian perlu dilengkapi dengan jadwal kegiatan yang akan dilaksanakan. Berikut adalah rinciannya :

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

Kegiatan	Bulan															
	Desember (2025)				Januari (2026)				Februari (2026)				Maret (2026)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengerjaan Proposal	■	■	■	■	■	■										
Bimbingan Proposal			■	■	■	■										
Seminar Proposal							■									
Revisi Proposal								■								
Penyusunan Skripsi								■	■	■						
Sidang Skripsi											■					
Revisi Skripsi												■	■	■		
Pengumpulan Skripsi															■	■

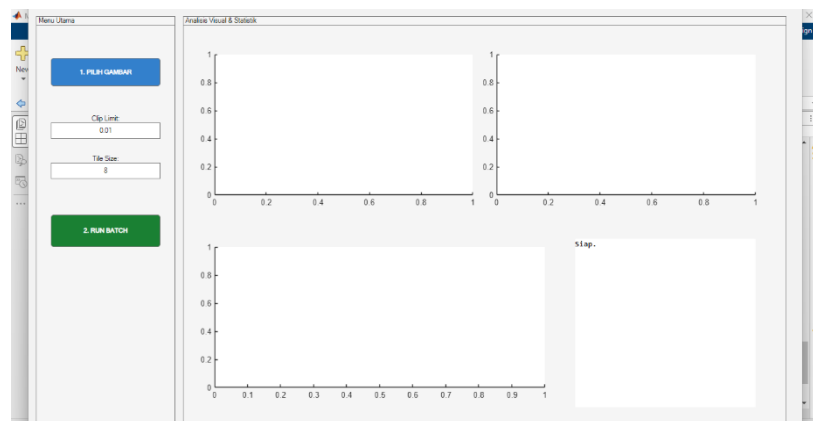
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

Fokus utama dari penelitian ini adalah untuk menciptakan sistem yang dapat mengangkat detail objek yang tersembunyi di area gelap tanpa merusak kualitas asli dari gambar tersebut. Penerapan sistem ini terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu penyusunan logika algoritma melalui skrip pemrograman dan pembuatan antarmuka pengguna (GUI) untuk mempermudah proses pengujian. Peneliti memilih MATLAB karena ketersediaan Image Processing Toolbox yang sangat stabil dalam menangani pengolahan matriks gambar dan perhitungan metrik akurasi dengan presisi.

Untuk memudahkan pengujian, peneliti juga merancang antarmuka grafis atau GUI (*Graphical User Interface*). Melalui GUI ini, peneliti dapat langsung memasukkan gambar, mengatur parameter, dan melihat hasilnya secara real-time beserta angka evaluasinya (MSE dan PSNR). Dengan adanya GUI, proses pengambilan data menjadi lebih efisien dan terstruktur



Gambar 4. 1 Tampilan Utama Sistem CLAHE

4.2 Proses Pembangunan Program GUI di Matlab

Pada proses ini peneliti membuat 1 folder yang terdiri dari 2 sub bab folder yaitu, Data Original dan Data Hasil Clahe. Selanjutnya peneliti membuat file baru yang berisikan data.mlx sebagai program untuk memproses data peneliti secara keseluruhan, dan file kedua gui.m sebagai tampilan GUI.

Agar GUI dapat di jalan kan dengan benar dan mengikuti perintahnya maka peneliti harus mengisi code yang di perlukan agar perintah dapat di jalan kan dengan lancar. Berikut gambar di bawah adalah tampilan source code sesuai dengan component yang ada di GUI :

```
function live_update_single(~, ~)
    if isempty(data_img_global), return; end
    c_val = str2double(get(h_clip, 'String'));
    t_val = str2double(get(h_tile, 'String'));
    Ia = im2uint8(data_img_global);
    Ih = adapthisteq(Ia, 'ClipLimit', c_val, 'NumTiles', [t_val t_val]);
```

Gambar 4. 2 Tampilan Source Code Implementasi Algoritma CLAHE

Gambar di atas adalah gambar *source code* yang menjelaskan bagaimana sistem memproses gambar gelap menggunakan parameter *Clip Limit* dan *Tile Size* . Alur kerjanya ketika kita belum memasukkan foto tapi udah mencent tombol, aplikasinya tidak bakal *error*. Ketika foto nya udah masuk, aplikasi bakal langsung narik *Clip Limit* dan *Tile Size* nya.

```
% --- 4. FUNGSI HITUNG MATRIKS (TIDAK BERUBAH) ---
function [mse_v, psnr_v, acc, pre, rec, f1, tp, tn, fp, fn] = hitung_metrik_lengkap(ia, ih)
    diff = double(ia) - double(ih);
    mse_v = sum(diff(:).^2) / numel(ia);
    psnr_v = 10 * log10(255^2 / mse_v);
    lvl = graythresh(ih);
    ba = imbinarize(ia, lvl); bh = imbinarize(ih, lvl);
    tp = sum(bh(:) & ba(:)); tn = sum(~bh(:) & ~ba(:));
    fp = sum(bh(:) & ~ba(:)); fn = sum(~bh(:) & ba(:));
    acc = ((tp + tn) / numel(ia)) * 100;
    pre = tp / (tp + fp); rec = tp / (tp + fn); f1 = 2*(pre*rec)/(pre+rec);
    if isnan(pre), pre=0; end; if isnan(rec), rec=0; end; if isnan(f1), f1=0; end
end
```

Gambar 4. 3 Source Code Fungsi Perhitungan Matriks MSE dan PSNR

Untuk alur kerja pada fungsi MSE dan PSNR sistem akan mengurangi nilai piksel dari foto asli dan foto hasil untuk mencari selisihnya. Kemudian, diperoleh nilai MSE untuk melihat tingkat kesalahan, dan PSNR untuk menentukan kualitas gambar dalam satuan dB. Jika PSNR-nya tinggi, itu berarti perbaikan gambarnya bersih dan tidak rusak.

Setelah itu, alurnya berlanjut ke bagian "logika" menggunakan metode binerisasi (item-putih). Sistem mencari ambang batas otomatis melalui graythresh untuk memisahkan objek dari latar belakang. Di sinilah Confusion Matrix berperan; sistem akan mencocokkan setiap piksel foto asli dengan hasil untuk mencari nilai TP, TN, FP, dan FN. Terakhir, semua angka tersebut dirangkum menjadi Akurasi (%), Presisi, dan F1-Score untuk membuktikan secara statistik bahwa sistem Anda benar-benar akurat dalam mengenali objek setelah fotonya diterangi.

```

if p >= 30, st='Optimal'; col=[0 0.6 0]; else, st='Cukup'; col=[0 0 0.8]; end
set(h_info, 'ForegroundColor', col, 'String', sprintf(['ANALISIS SINGLE:\n' ...
'=====\n' ...
'MSE      : %.4f\nPSNR      : %.4f dB\nAKURASI : %.2f%\n' ...
'PRESISI  : %.4f\nRECALL  : %.4f\nF1-SCORE: %.4f\n' ...
'STATUS   : %s'], m, p, a, pr, re, f, st));

```

Gambar 4. 4 Source Code Logika Keberhasilan

Alur kerjanya dimulai dengan pengujian logika pada nilai PSNR jika sistem mendeteksi nilai PSNR sebesar 30 dB atau lebih, maka variabel status akan diatur menjadi '**Optimal**' sebagai indikator keberhasilan kualitas citra. Sebaliknya, jika nilai tersebut di bawah ambang batas 30 dB, status akan berubah menjadi '**Cukup**' yang menandakan bahwa hasil perbaikan citra masih dalam kategori standar dan mungkin memerlukan penyesuaian parameter lebih lanjut. Dengan adanya logika ini, peneliti atau pengguna bisa langsung mengetahui performa algoritma CLAHE secara instan tanpa harus menghitung manual, karena sistem sudah mengotomatisasi penilaian kualitas berdasarkan standar pengolahan citra digital yang telah ditentukan.

```

% --- 6. MODE BATCH (GRAFIK AKURASI) ---
function proses_batch(~, ~)
    path_f = uigetdir('', 'Pilih Folder');
    if isequal(path_f,0), return; end
    files = [dir(fullfile(path_f, '*.png')); dir(fullfile(path_f, '*.jpg')); dir(fullfile(path_f, '*.jpeg'))];
    n = length(files);

    c_val = str2double(get(h_clip, 'String'));
    t_val = str2double(get(h_tile, 'String'));
    res_acc = zeros(1,n); res_mse = zeros(1,n); res_psnr = zeros(1,n);
    s_tp=0; s_tn=0; s_fp=0; s_fn=0;

    cla(ax_grafik);
    for i = 1:n
        img = imread(fullfile(path_f, files(i).name));
        if size(img,3)==3, img=rgb2gray(img); end
        Ia = im2uint8(img);
        Ih = adapthisteq(Ia, 'ClipLimit', c_val, 'NumFiles', [t_val t_val]);
        [m, p, a, pr, re, f, tp, tn, fp, fn] = hitung_metrik_lengkap(Ia, Ih);
        res_acc(i)=a; res_mse(i)=m; res_psnr(i)=p;
        s_tp=s_tp+tp; s_tn=s_tn+tn; s_fp=s_fp+fp; s_fn=s_fn+fn;
    end
end

```

Gambar 4.5 Source Code Fungsi Pengujian Banyak Data

Fungsi ini beroperasi dengan alur otomatisasi untuk menguji banyak data sekaligus dalam satu folder. Proses dimulai ketika pengguna memilih direktori penyimpanan yang akan menyisir dan mencatat semua file gambar dengan format .png, .jpg, atau .jpeg yang ada. Setelah daftar file terbentuk, sistem melakukan inisialisasi variabel penampung hasil serta variabel akumulasi matriks konfusi untuk menyimpan performa dari setiap gambar yang akan diproses. Tahap inti dari fungsi ini terletak pada penggunaan perulangan di mana sistem secara bergantian membaca gambar, mengubahnya ke skala keabuan dan menerapkan algoritma CLAHE berdasarkan parameter yang diinputkan pengguna. Setiap kali satu gambar selesai diproses, sistem langsung memanggil fungsi untuk mendapatkan nilai MSE, PSNR, hingga akurasi, lalu menjumlahkan total piksel TP, TN, FP, dan FN ke dalam variabel akumulasi. Alur ini memungkinkan peneliti untuk melihat konsistensi performa algoritma pada sekumpulan data uji secara cepat dan efisien tanpa harus melakukan pengujian manual satu per satu.

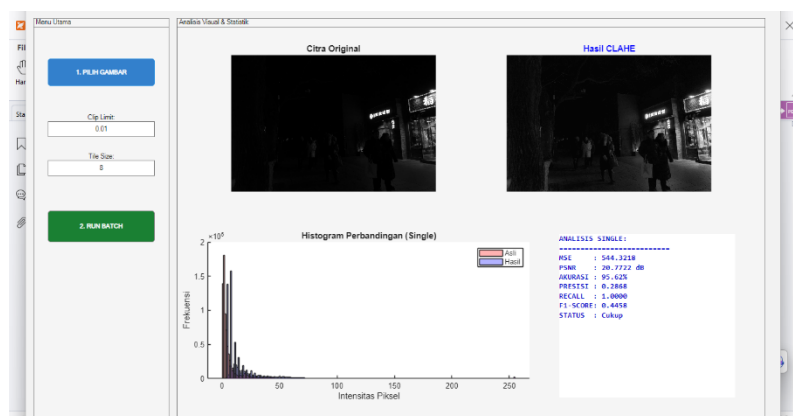
```

avg_a = mean(res_acc);
if avg_a >= 80, st='BERHASIL'; col=[0 0.6 0]; else, st='GAGAL'; col=[0.8 0 0]; end
set(h_info, 'ForegroundColor', col, 'String', sprintf(['RATA-RATA BATCH:\n' ...
'-----\n' ...
'Mean Akurasi : %.2f%%\nMean PSNR   : %.4f dB\n' ...
'Mean MSE     : %.4f\nSTATUS     : %s'], avg_a, mean(res_psnr), mean(res_mse), st));

```

Gambar 4. 6 Source Code Fungsi Keberhasilan Banyak Data

Bagian kode ini adalah tahap akhir dari pengujian massal yang bertugas untuk merangkum seluruh performa data uji ke dalam satu laporan ringkas. Proses ini dimulai dengan menghitung nilai rata-rata akurasi yang kemudian dijadikan sebagai indikator utama keberhasilan sistem. Apabila nilai rata-rata tersebut mencapai atau melebihi ambang batas 80%, sistem secara otomatis menetapkan status ‘Berhasil’. Sebaliknya, jika rata-rata akurasi berada di bawah angka 80%, status akan berubah menjadi ‘Gagal’ yang menunjukkan bahwa parameter algoritma CLAHE perlu ditinjau kembali untuk sekumpulan data tersebut.



Gambar 4. 7 Tampilan Ketika Pilih Gambar

ketika di input maka munculah hasil grafik histogram dan hasil citra CLAHE dengan menampilkan analisis dari nilai matriks yang telah dibuat. Dari analisis tersebut yang akan menentukan metode CLAHE ini berhasil di implementasikan.



Gambar 4. 8 Tampilan Ketika Klik Run Batch

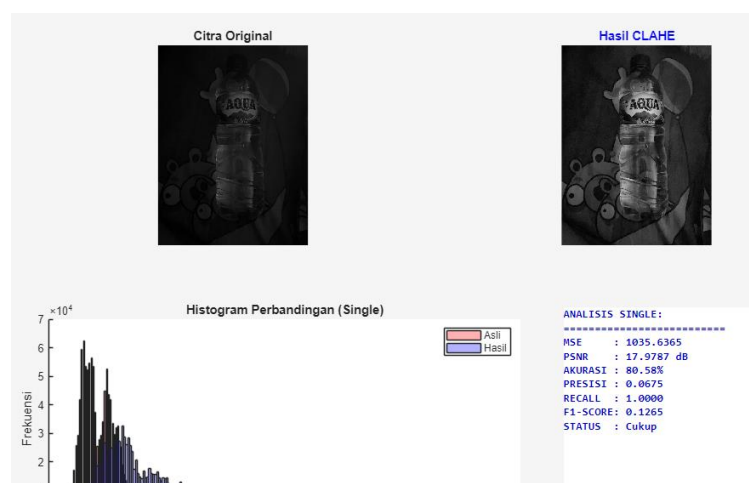
ketika run batch di klik maka akan membuka penyimpanan untuk memilih folder Syang akan dilakukan proses CLAHE, kemudian akan muncul hasil grafik akurasi dan menampilkan analisis serta confusion matrix. Analisis tersebut yang akan menentukan metode CLAHE dari tingkat akurasi nya.

4.3 Hasil Penelitian

Berikut adalah hasil gambar yang sudah di proses dengan metode CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*)

4.3.1 Hasil Pengujian Data Tunggal

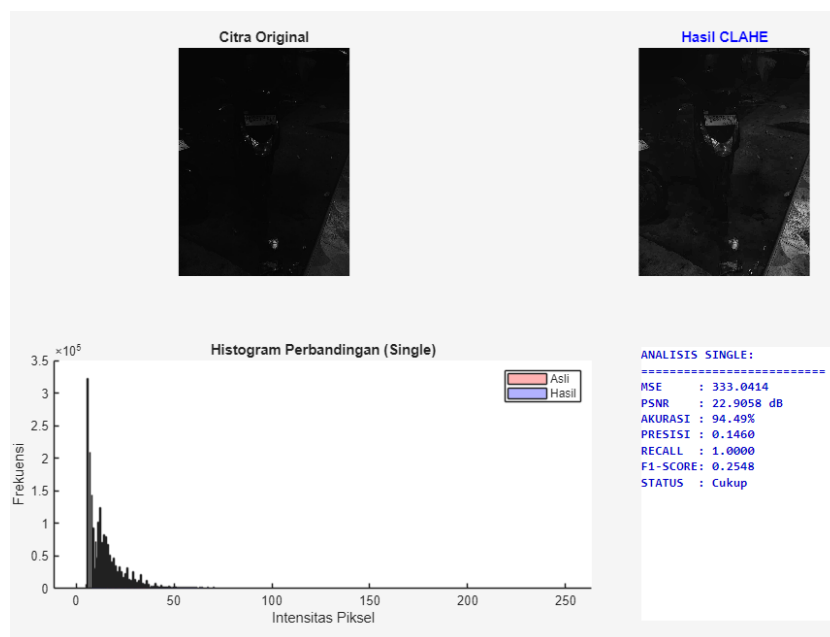
1. IMG_0873 Size 1280x960x3 *Clip Limit* 0.01 dan *Tile size* 8x8



Gambar 4. 9 Foto Gelap Botol dan Hasilnya

Gambar ini menunjukkan hasil perbaikan citra botol yang sangat gelap menggunakan algoritma CLAHE. Secara visual, detail objek yang sebelumnya hilang menjadi jauh lebih jelas dan kontras. Hal ini diperkuat oleh grafik Histogram, di mana tumpukan piksel asli (merah) yang mendominasi area gelap berhasil diratakan ke intensitas yang lebih terang (biru). Meskipun nilai PSNR 17,97 dB menunjukkan status "Cukup" karena kondisi cahaya yang ekstrem, tingkat Akurasi 80,58% dan Recall 1,0000 membuktikan bahwa sistem sangat efektif dalam mengangkat seluruh informasi objek yang tersembunyi agar lebih mudah diidentifikasi.

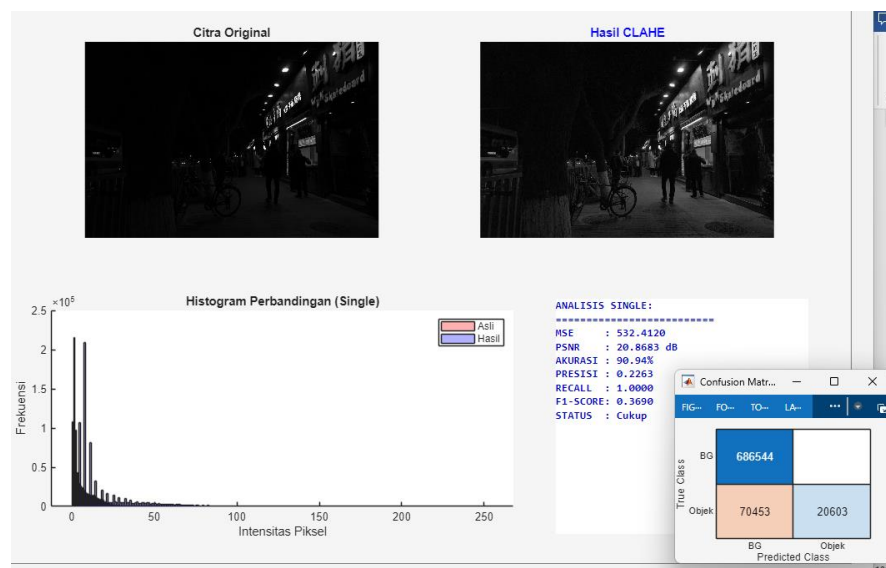
2. IMG_0797 Size 1280x960x30 *Clip Limit* 0.01 dan *Tile size* 8x8



Gambar 4. 10 Foto Gelap Motor dan Hasilnya

Gambar diatas menunjukkan hasil pengolahan citra sepeda motor dalam kondisi sangat gelap menggunakan algoritma CLAHE. Secara visual, detail bodi motor dan tekstur lantai yang sebelumnya tidak terlihat menjadi jauh lebih jelas dan informatif. Hal ini didukung oleh grafik Histogram, di mana tumpukan piksel asli yang sangat rendah (mendekati 0) berhasil diratakan ke arah intensitas yang lebih terang. Berdasarkan data statistik, diperoleh nilai PSNR 22,90 dB dan tingkat Akurasi 94,49%. Meskipun status menunjukkan "Cukup" karena noise akibat kondisi cahaya ekstrem, nilai Recall 1,0000 membuktikan bahwa sistem sangat efektif dalam mengekstraksi seluruh informasi objek yang tersembunyi agar dapat diidentifikasi secara optimal.

3. IMG_6 Size 720x1080x3 *Clip Limit* 0.01 dan *Tile size* 8x8

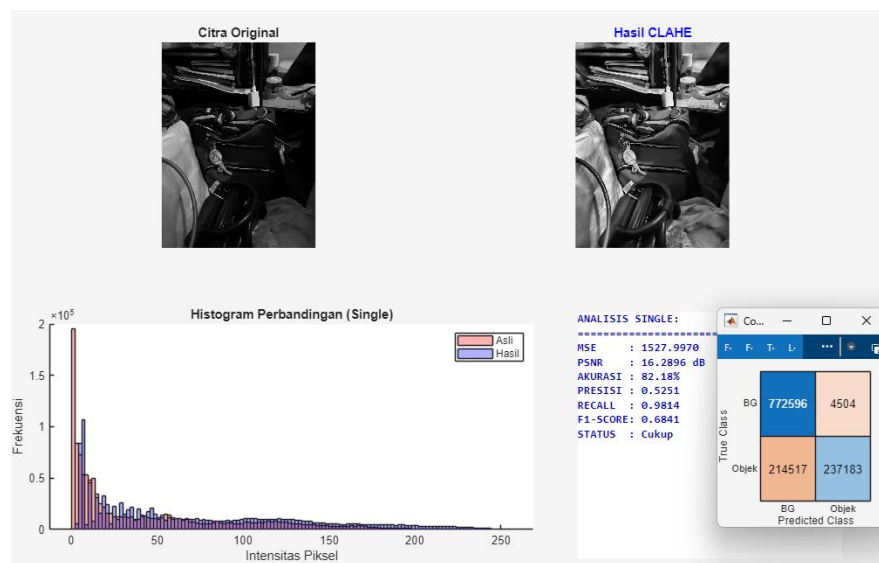


Gambar 4. 11 Foto Gelap Area Trotoar Bangunan dan Hasilnya

Gambar ini menunjukkan hasil perbaikan citra pemandangan jalan di malam hari menggunakan algoritma CLAHE. Secara visual, area trotoar dan detail bangunan yang sangat gelap pada citra asli menjadi lebih terang dan jelas. Hal ini didukung oleh grafik Histogram, di mana piksel asli yang menumpuk di area gelap berhasil

diratakan untuk meningkatkan visibilitas objek. Berdasarkan data statistik, diperoleh nilai PSNR 20,86 dB dan tingkat Akurasi 90,94%. Meskipun status menunjukkan "Cukup", nilai Recall 1,0000 dan visualisasi Confusion Matrix membuktikan bahwa sistem sangat efektif dalam mengekstraksi seluruh informasi objek yang tersembunyi agar dapat diidentifikasi secara optimal.

4. IMG_0874 Size 1280x960x30 *Clip Limit* 0.01 dan *Tile size* 8x8

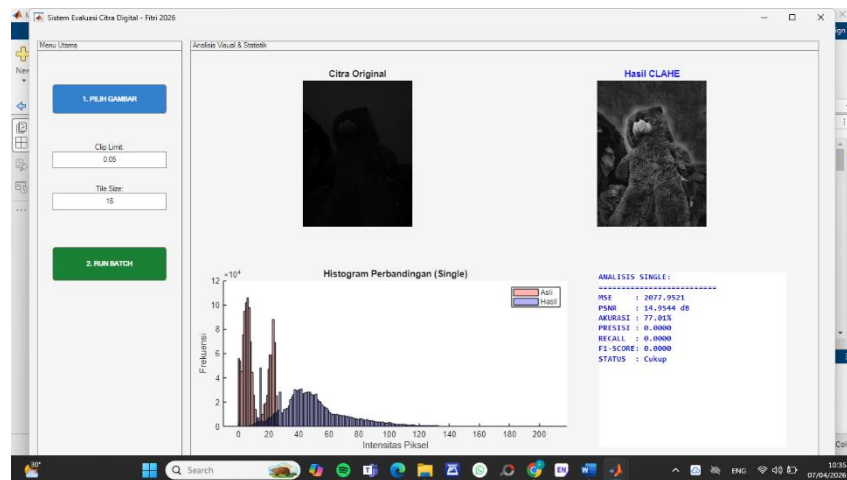


Gambar 4. 12 Foto Gelap Barang Indoor

Gambar ini menunjukkan pengujian citra *indoor* dengan kondisi cahaya sangat rendah. Secara visual, CLAHE berhasil mengangkat detail objek yang sebelumnya tertutup bayangan pekat, didukung oleh pergeseran histogram dari area gelap (merah) ke arah yang lebih terang (biru).

Meskipun nilai PSNR 16,28 dB dan MSE 1527,99 belum menyentuh angka optimal karena kontras asli yang terlalu ekstrem, sistem tetap menunjukkan performa fungsional yang baik. Hal ini dibuktikan dengan nilai Akurasi 82,18% dan Recall 0,9814, yang berarti sistem sukses mengekstraksi hampir seluruh informasi objek penting meskipun kualitas matematisnya tergolong status "Cukup".

5. IMG_0889 Size 1280x960x30 *Clip Limit* 0.05 dan *Tile size* 16x16



Gambar 4. 13 Foto Gelap Boneka dan Hasilnya

Gambar boneka diatas pernah mencoba menggunakan parameter yang lebih tinggi (*Clip Limit* 0.05 dan *Tile Size* 16). Secara visual, objek boneka tampak jauh lebih terang dan kontras, namun mulai muncul *noise* (bintik-bintik) pada area latar belakang. Secara statistik, nilai PSNR turun ke 14,95 dB dan MSE naik signifikan ke 2077,95. Hal ini membuktikan bahwa peningkatan kontras yang terlalu agresif justru merusak integritas piksel asli, sehingga menurunkan Akurasi menjadi 77,01%. Hasil ini menjadi poin penting dalam laporan untuk menjelaskan bahwa parameter yang lebih besar tidak selalu menghasilkan kualitas citra yang lebih baik secara matematis.

4.3.2 Hasil Pengujian Data Banyak

Pengujian pada tahap ini dilakukan untuk menilai konsistensi dan kinerja algoritma CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*) ketika mengolah kumpulan citra dalam jumlah besar. Dataset yang digunakan dalam pengujian ini terdiri dari **991** citra dengan berbagai tingkat degradasi pencahayaan (*low-light*), mencakup kategori indoor dan outdoor. Parameter yang ditetapkan dalam pengujian batch ini adalah nilai *Clip Limit* sebesar 0,01 dan *Tile Size* berukuran 8.

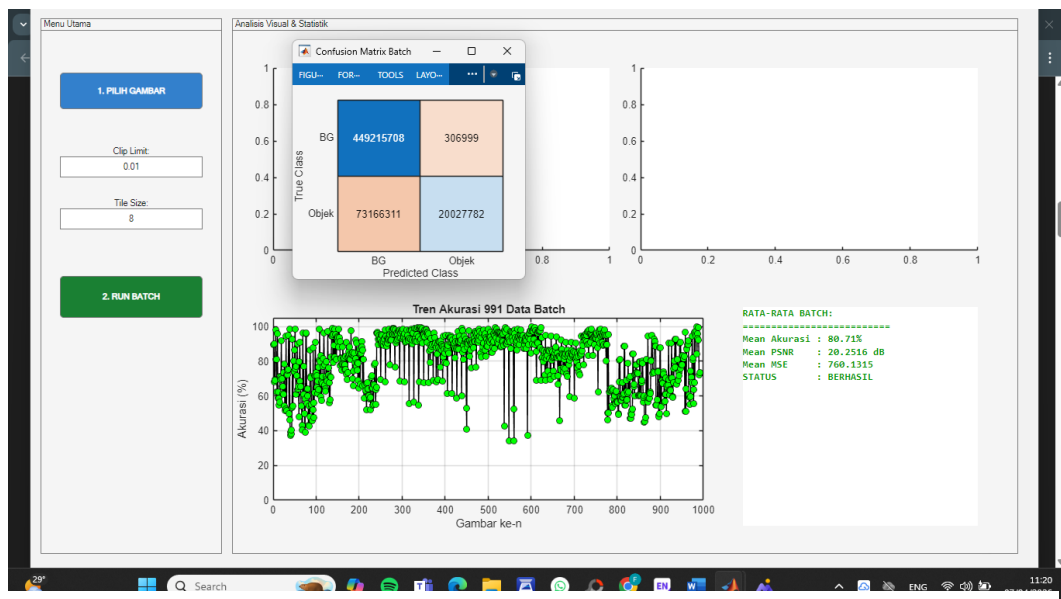
Berdasarkan hasil pengujian otomatis terhadap seluruh dataset, sistem berhasil mempertahankan kinerja yang stabil dengan perolehan nilai statistik sebagai berikut:

- Mean Accuracy : 80,71%
- Mean PSNR : 20,2516 dB
- Mean MSE : 760,1315
- Status Akhir : BERHASIL

Pencapaian nilai Mean PSNR di atas 20 dB menunjukkan bahwa metode yang diterapkan mampu memberikan perbaikan kontras yang signifikan tanpa merusak struktur asli piksel citra secara berlebihan. Nilai Mean Accuracy sebesar 80,71% mengonfirmasi bahwa sebagian besar citra hasil olahan telah memenuhi kriteria keberhasilan fungsional dalam hal visibilitas objek.

Tren akurasi yang dihasilkan selama proses pengujian terhadap 991 data menunjukkan fluktuasi pada titik-titik tertentu. Hal ini disebabkan oleh adanya variasi citra dengan kondisi gelap ekstrem (zero-light) yang memiliki keterbatasan informasi piksel asli, sehingga proses perataan histogram tidak dapat mencapai hasil optimal. Namun secara keseluruhan, grafik tren menunjukkan bahwa sistem memiliki reliabilitas yang baik dalam menangani variasi data yang luas secara otomatis.

Hasil dari matriks konfusi (Confusion Matrix) juga menunjukkan dominasi klasifikasi yang tepat pada area objek dan latar belakang setelah proses perbaikan kontras dilakukan. Hal ini membuktikan bahwa algoritma CLAHE dengan parameter yang tepat sangat efektif untuk meningkatkan kualitas citra digital pada kondisi pencahayaan rendah dalam skala besar.



Gambar 4. 14 Hasil Run Data Banyak dan Grafik Akurasinya

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, perancangan, dan pengujian sistem yang telah dilakukan terhadap perbaikan citra digital menggunakan metode *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE), maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Penerapan algoritma CLAHE terbukti efektif dalam meningkatkan visibilitas objek pada citra dengan kondisi pencahayaan rendah (low-light). Hal ini terlihat dari keberhasilan sistem dalam menampilkan detail objek yang sebelumnya tertutup bayangan pekat menjadi lebih jelas secara visual.
2. Pengujian secara batch terhadap 991 data menghasilkan nilai rata-rata Akurasi sebesar 80,71% dan PSNR sebesar 20,2516 dB. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem memiliki reliabilitas yang stabil dalam menangani variasi dataset yang luas secara otomatis.
3. Penggunaan parameter Clip Limit sebesar 0.01 dan Tile Size sebesar 8 merupakan titik keseimbangan (trade-off) terbaik dalam penelitian ini. Parameter tersebut mampu meningkatkan kontras secara signifikan tanpa menimbulkan distorsi piksel atau noise berlebih, dibandingkan dengan penggunaan Clip Limit yang lebih tinggi (seperti 0.05) yang justru menurunkan nilai PSNR secara drastis.

4. Nilai akurasi yang belum mencapai angka 90% disebabkan oleh karakteristik citra asli yang mengalami degradasi cahaya ekstrem (*zero-light*). Dalam kondisi tersebut, hilangnya informasi piksel asli menyebabkan munculnya noise saat proses redistribusi histogram, yang secara matematis memengaruhi nilai MSE dan presisi sistem.

5.2 Saran

Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut guna mendapatkan hasil yang lebih optimal, penulis menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Untuk mencapai angka akurasi dan PSNR di atas 90% pada citra gelap ekstrem, disarankan untuk menambahkan metode *denoising* (seperti *Median Filter*, *Wiener Filter*, atau *BM3D*) sebagai tahap pra-pemrosesan sebelum dilakukan metode CLAHE untuk menekan munculnya *noise*.
2. Penelitian selanjutnya dapat mencoba mengombinasikan metode CLAHE dengan teknik perbaikan citra berbasis AI lainnya, seperti *Deep Learning* (misalnya *RetinexNet*), untuk menangani citra dengan tingkat kegelapan yang lebih kompleks.
3. Disarankan untuk melakukan optimasi pada ambang batas (*threshold*) klasifikasi objek agar nilai presisi dapat ditingkatkan sejalan dengan peningkatan visibilitas yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashillah, S., Gulo, S. A., Rahmi, Y., & Niska, D. Y. (2025). *Implementasi Algoritma Pengolahan Citra Digital untuk Perbaikan Kualitas Gambar*.
- Attaqwa, S. I., Puspaningrum, E. Y., Saputra, W. S. J., Pembangunan, U., Veteran, N., Timur, J., & Anyar, G. (2024). *IMPLEMENTASI CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION DALAM PENGOLAHAN GENERATIVE*. 12(3).
- Contrast, M., Adaptive, L., & Equalization, H. (n.d.). *PENERAPAN METODE CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION (CLAHE) PADA CITRA DIGITAL UNTUK MEMPERBAIKI GAMBAR X-RAY*. 24–29.
- Fisika, B., Awwalin, A. R., Setiawati, E., Fisika, D., & Diponegoro, U. (2021). *IMPLEMENTASI METODE CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION DAN LAPLACIAN OF GAUSSIAN FILTER*. 24(1), 30–38.
- Ginting, D., Simanjuntak, M., Saragih, R., Utara, S., & Maps, G. (2022). *Reduksi Noise Pada Citra Menggunakan Metode Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*. 1–14.
- Husni, M. H. (n.d.). *Pengembangan Sistem Enhancement Selektif dengan Fine-tuning Retinex-Net untuk Peningkatan Kinerja Sistem Pengenalan Wajah pada Kondisi Cahaya Rendah*.
- Irawan, S., Hasan, Y., & Tampubolon, K. (2019). *Penerapan metode clahe untuk memperjelas objek pantulan kaca pada citra digital*. 3, 30–35. <https://doi.org/10.30865/komik.v3i1.1563>
- Ketut, N., Nilasari, N., Divayana, Y., & Hartati, R. S. (2022). *Perbandingan Metode Median Filtering dengan CLAHE dalam Mengidentifikasi Koloni Bakteri*. 21(1).

- Pratama, M. R., Hidayat, S. Z., Nuruddin, A. R., Niamaputri, H. W., & Kunci, K. (2025). *Optimasi Peningkatan Kontras Gambar Menggunakan Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Sets dan Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)*. 4(1), 307–317. <https://doi.org/10.31284/p.semtik.2025-1.6884>
- Putra, F., Anastasia, P., Widiarti, R., Informatika, P., Sains, F., Sanata, U., & Yogyakarta, D. (2025). *JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering)*. 9(July), 261–270.
- Riana, D., Syahrani, M., Mandiri, U. N., Melayu, C., & Timur, K. J. (2022). *PENGLOLAAN CITRA DIGITAL DENGAN MENGGUNAKAN*. 6(1), 108–119.
- S, Y. L., Yusuf, A., Hafiz, A., Nasution, A. K., Sitepu, A. D., & Syahputra, H. (2025). *IMPLEMENTASI TEKNIK HISTOGRAM EQUALIZATION UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS CITRA PADA FOTO LAMA YANG PUDAR*. 9(5), 7524–7530.
- Saifullah, S., & Kunci, K. (2019). *SYSTEMIC : Information System and Informatics Journal Segmentasi Citra Menggunakan Metode Watershed Transform Berdasarkan Image Enhancement Dalam Mendeteksi Embrio Telur*. 5(2), 53–60.
- Zakaria, A. I., Vatesia, A., & Oktoeberza, W. K. Z. (2019). *PERBANDINGAN METODE HIGH-FREQUENCY EMPHASIS (HFE) DAN CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION (CLAHE) DALAM PERBAIKAN KUALITAS CITRA PENGINDERAAN JAUH (REMOTE SENSING)*. VI(September), 125–137.

PERBAIKAN KUALITAS CITRA DIGITAL PADA GAMBAR YANG GELAP UNTUK MENGIDENTIFIKASI TARGET DENGAN METODE CLAHE (CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION)

ORIGINALITY REPORT

22%	21%	9%	12%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repository.umsu.ac.id Internet Source	7%
2	Submitted to Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Student Paper	2%
3	voi.stmik-tasikmalaya.ac.id Internet Source	1%
4	repository.upnjatim.ac.id Internet Source	1%
5	id.123dok.com Internet Source	1%
6	repositori.usu.ac.id Internet Source	<1%
7	www.jurnalteknik.unisla.ac.id Internet Source	<1%
8	polgan.ac.id Internet Source	<1%
9	jurnal.ikta.ac.id Internet Source	<1%
10	ejurnal.seminar-id.com Internet Source	<1%

11	Azzahra Nabila, Luna Falya Iskandar, Nika Rani Nur Shafa Lubis, Zafira A'idah Gunawan et al. "Perbandingan Metode Filtering untuk Peningkatan Kualitas Citra Daun Tomat Terinfeksi TMV", Jurnal Ilmu Komputer dan Multimedia, 2025 Publication	<1 %
12	Submitted to Fakultas Teknik Student Paper	<1 %
13	ojs.unud.ac.id Internet Source	<1 %
14	digitallib.iainkendari.ac.id Internet Source	<1 %
15	text-id.123dok.com Internet Source	<1 %
16	bapeten.go.id Internet Source	<1 %
17	archive.umsida.ac.id Internet Source	<1 %
18	journal-center.litpam.com Internet Source	<1 %
19	repository.unissula.ac.id Internet Source	<1 %
20	digilib.uin-suka.ac.id Internet Source	<1 %
21	www.semanticscholar.org Internet Source	<1 %
22	Submitted to Universitas Andalas Student Paper	<1 %
23	eprints.umm.ac.id	

	Internet Source	<1 %
24	jurnal.una.ac.id Internet Source	<1 %
25	Submitted to Badan PPSDM Kesehatan Kementerian Kesehatan Student Paper	<1 %
26	Submitted to Universitas Islam Indonesia Student Paper	<1 %
27	digilib.uinsgd.ac.id Internet Source	<1 %
28	eprints.umpo.ac.id Internet Source	<1 %
29	repository.unwira.ac.id Internet Source	<1 %
30	scholar.archive.org Internet Source	<1 %
31	twibbon.github.io Internet Source	<1 %
32	you-gonever.icu Internet Source	<1 %
33	Reno Supardi. "IMPLEMENTASI METODE BIT MATCHING UNTUK KEAMANAN PESAN TEKS MENGUNAKAN VISUAL BASIC. NET", JURNAL TEKNOLOGI INFORMASI, 2018 Publication	<1 %
34	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	<1 %
35	aksioma.unram.ac.id Internet Source	<1 %

36	ejournal.itn.ac.id Internet Source	<1 %
37	eprints.uny.ac.id Internet Source	<1 %
38	journal.swu.ac.id Internet Source	<1 %
39	repository.uinsu.ac.id Internet Source	<1 %
40	www.researchgate.net Internet Source	<1 %
41	Submitted to Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia Student Paper	<1 %
42	Submitted to Universitas Airlangga-1 Student Paper	<1 %
43	Submitted to Universitas Dian Nuswantoro Student Paper	<1 %
44	Submitted to Universitas Muhammadiyah Purwokerto Student Paper	<1 %
45	kc.umh.ac.id Internet Source	<1 %
46	Submitted to Politeknik Negeri Bandung Student Paper	<1 %
47	Submitted to Universitas Sumatera Utara Student Paper	<1 %
48	ejournal.polbeng.ac.id Internet Source	<1 %
49	eprints.pancabudi.ac.id Internet Source	<1 %

50	journal.aptii.or.id Internet Source	<1 %
51	repository.its.ac.id Internet Source	<1 %
52	api-repo.unisan.ac.id Internet Source	<1 %
53	docplayer.info Internet Source	<1 %
54	journal.unnes.ac.id Internet Source	<1 %
55	pt.scribd.com Internet Source	<1 %
56	repository.unsri.ac.id Internet Source	<1 %
57	www.grafiati.com Internet Source	<1 %
58	Submitted to Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan Student Paper	<1 %
59	eprints.amikom.ac.id Internet Source	<1 %
60	ftik.uinpalopo.ac.id Internet Source	<1 %
61	iridology-research.com Internet Source	<1 %
62	journal.universitassuryadarma.ac.id Internet Source	<1 %
63	jurnal.stikes-ibnusina.ac.id Internet Source	<1 %

64	repositori.unwira.ac.id Internet Source	<1 %
65	widuri.raharja.info Internet Source	<1 %
66	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
67	Submitted to Universitas Riau Student Paper	<1 %
68	adoc.pub Internet Source	<1 %
69	digilib.uinsa.ac.id Internet Source	<1 %
70	digilib.unila.ac.id Internet Source	<1 %
71	ejurnal.itats.ac.id Internet Source	<1 %
72	jurnal.akommedia.net Internet Source	<1 %
73	jurnal.poliupg.ac.id Internet Source	<1 %
74	jurnal.syedzasaintika.ac.id Internet Source	<1 %
75	keperawatan.unsoed.ac.id Internet Source	<1 %
76	repository.unhas.ac.id Internet Source	<1 %
77	www.hargaoppoandroid.com Internet Source	<1 %
78	www.scribd.com Internet Source	

		<1 %
79	Nurhidayah, Bannu Abdul Samad, Bualkar Abdullah. "Perbandingan Metode Contrast Enhancement pada Citra CT-Scan Kanker Paru-paru", Gravitasi, 2020 <small>Publication</small>	<1 %
80	Fahmi Aliefuddin Hamzah, Retno Wahyusari. "Perbandingan Perbaikan Citra Magnetic Resonance Imaging (MRI) Menggunakan Ruang Warna RGB, HSV dan YCbCr Dengan Metode Histogram Equalization dan Contrast Streching", JIIFKOM (Jurnal Ilmiah Informatika dan Komputer), 2023 <small>Publication</small>	<1 %

Exclude quotes Off
Exclude bibliography Off

Exclude matches Off