

UTS
PENGOLAHAN CITRA



NAMA : Diwi Karunia Fateh

NIM : 202331054

KELAS : A

DOSEN : Dr. Dra. Dwina Kuswardani, M.Kom

NO.PC : 19

ASISTEN : 1. Clarenca Sweetdiva Pereira

2. Viana Salsabila Fairuz Syahla

3. Kashrina Masyid Azka

4. Sasikirana Ramadhanty Setiawan Putri

INSTITUT TEKNOLOGI PLN
TEKNIK INFORMATIKA
2024/2025

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	ii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Rumusan Masalah.....	1
1.2 Tujuan Masalah.....	1
1.3 Manfaat Masalah	1
BAB II LANDASAN TEORI	2
2.1 Pengolahan Citra Digital.....	2
2.2 Deteksi Warna.....	2
2.3 Teori Dasar Ruang Warna RGB dan Pentingnya Pemisahan Kanal Warna	2
2.4 Histogram Citra dan Fungsinya	3
2.5 Ruang Warna HSV dan Keunggulannya dibandingkan RGB.....	3
2.6 Transformasi Linier dalam Pengolahan Citra	4
2.7 Studi Kasus Aplikasi Nyata	5
BAB III HASIL.....	7
3.1 Deteksi Warna Pada Citra	7
3.2 Ambang Batas	8
3.3 Memperbaiki Gambar Backlight	10
BAB IV PENUTUP	12
4.1 Kesimpulan.....	12
DAFTAR PUSTAKA.....	13

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara mendeteksi objek berdasarkan warna dominan dalam citra digital menggunakan ruang warna HSV?
2. Bagaimana distribusi intensitas warna dalam citra dapat dianalisis melalui histogram untuk mendukung segmentasi objek?
3. Bagaimana transformasi linier (α dan β) dapat diterapkan untuk meningkatkan kecerahan dan kontras citra yang mengalami pencahayaan tidak merata (misalnya backlight)?
4. Apa keunggulan penggunaan ruang warna HSV dibandingkan RGB dalam proses deteksi warna pada kondisi pencahayaan yang bervariasi?
5. Bagaimana penerapan ambang batas (thresholding) pada ruang warna HSV dapat meningkatkan akurasi segmentasi objek berdasarkan warna?

1.2 Tujuan Masalah

1. Mengembangkan metode deteksi warna pada citra digital menggunakan ruang warna HSV untuk segmentasi objek berdasarkan warna dominan.
2. Menganalisis distribusi intensitas warna dalam citra melalui histogram untuk mendukung proses segmentasi objek.
3. Menganalisis distribusi intensitas warna dalam citra melalui histogram untuk mendukung proses segmentasi objek.
4. Membandingkan efektivitas ruang warna HSV dan RGB dalam proses deteksi warna pada berbagai kondisi pencahayaan.
5. Menentukan nilai ambang batas yang optimal pada ruang warna HSV untuk meningkatkan akurasi segmentasi objek berdasarkan warna.

1.3 Manfaat Masalah

1. Memberikan kontribusi dalam pengembangan teknik pengolahan citra digital, khususnya dalam deteksi dan segmentasi objek berdasarkan warna.
2. Menyediakan metode yang efektif untuk meningkatkan kualitas citra dalam kondisi pencahayaan yang tidak ideal, seperti backlight.
3. Mendukung aplikasi praktis dalam berbagai bidang, seperti pertanian, medis, dan sistem pengawasan, melalui peningkatan akurasi deteksi objek.
4. Menjadi referensi bagi peneliti dan praktisi dalam memilih ruang warna yang tepat untuk aplikasi pengolahan citra tertentu.
5. Meningkatkan pemahaman tentang penerapan ambang batas pada ruang warna HSV untuk segmentasi objek yang lebih akurat.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital adalah penggunaan komputer untuk mengolah gambar digital dengan algoritma tertentu. Dalam pemrosesan citra, citra dianggap sebagai matriks piksel dengan nilai-nilai numerik. Tujuan utama pemrosesan citra bisa berupa peningkatan kualitas gambar (seperti kontras, peredaman noise), ekstraksi informasi (seperti deteksi tepi atau objek), dan analisis data visual. Dengan belajar pengolahan citra, kita dapat memahami bagaimana komputer “melihat” dan menafsirkan gambar untuk berbagai aplikasi.

2.2 Deteksi Warna

Deteksi warna adalah teknik memisahkan atau mengidentifikasi objek dalam citra berdasarkan nilai warnanya. Dalam pengolahan citra, warna seringkali menjadi fitur penting untuk segmentasi objek dan ekstraksi informasi. Dengan mendeteksi piksel-piksel yang berada dalam rentang warna tertentu, suatu sistem dapat mengenali dan melacak objek berwarna spesifik. Deteksi warna banyak diterapkan pada tugas seperti pelacakan objek berwarna dalam video, pengenalan sinyal lalu lintas, atau pemisahan barang di lini produksi. Ruang warna (color space) berperan penting dalam proses ini karena menggambarkan bagaimana warna direpresentasikan. Sebagai contoh, dalam ruang warna RGB (Red-Green-Blue) setiap piksel dijabarkan melalui kombinasi tiga kanal warna primer, namun representasi ini sensitif terhadap perubahan pencahayaan. Oleh karena itu sering digunakan ruang warna lain seperti HSV (Hue, Saturation, Value) untuk mempermudah deteksi warna di bawah kondisi pencahayaan beragam.

2.3 Teori Dasar Ruang Warna RGB dan Pentingnya Pemisahan Kanal Warna

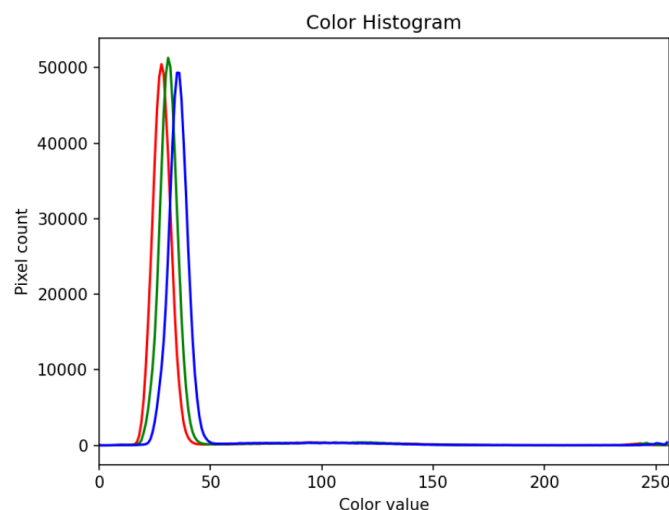
Model warna RGB adalah model warna aditif yang menggabungkan cahaya merah (R), hijau (G), dan biru (B) untuk merepresentasikan beragam warna. Dalam citra digital berwarna (misalnya 24-bit), setiap piksel direpresentasikan oleh tiga nilai intensitas (R, G, B), masing-masing 8-bit dengan rentang 0–255. Misalnya, piksel (255, 0, 0) artinya merah penuh, sementara (0, 255, 0) artinya hijau penuh. Ruang warna RGB banyak digunakan pada kamera, monitor, dan pemrosesan citra komputer.

Pemisahan kanal warna (channel separation) berarti memecah citra RGB menjadi tiga citra skala keabuan terpisah: satu untuk kanal merah, satu hijau, satu biru. Ini penting karena setiap kanal menyoroti aspek visual yang berbeda. Misalnya, objek merah akan sangat terlihat pada kanal merah tapi samar pada hijau dan biru. Dengan menganalisis tiap kanal secara terpisah, kita bisa melakukan segmentasi atau peningkatan citra yang lebih spesifik – misalnya mengidentifikasi jaringan tertentu dalam citra medis atau menyoroti kesehatan tanaman berdasarkan intensitas hijau pada citra pertanian.

2.4 Histogram Citra dan Fungsinya

Histogram citra adalah grafik yang memperlihatkan sebaran intensitas atau kecerahan pada sebuah citra digital. Sumbu horizontal (X) menunjukkan nilai intensitas (misalnya 0 hitam sampai 255 putih), sedangkan sumbu vertikal (Y) menunjukkan jumlah piksel untuk masing-masing nilai itu. Dengan melihat histogram, kita dapat menilai kontras dan kecerahan citra secara keseluruhan. Misalnya, puncak di sebelah kiri (nilai rendah) menunjukkan banyak piksel gelap; puncak di kanan menunjukkan banyak piksel terang.

Histogram sangat berguna dalam banyak fungsi pemrosesan citra. Ia membantu mendeteksi area yang terlalu gelap atau terlalu terang (highlight/shadow), dan menjadi dasar metode penyeimbangan histogram (histogram equalization) untuk meningkatkan kontras. Dalam computer vision, histogram juga membantu penentuan threshold otomatis untuk segmentasi citra (memisahkan objek dari latar). Dengan menganalisis puncak dan lembah histogram, kita bisa memilih nilai ambang (threshold) yang memisahkan piksel gelap dan terang untuk deteksi tepi, segmentasi area, dan lain-lain.

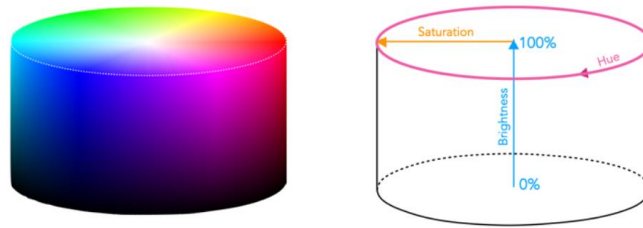


Gambar di atas menunjukkan contoh histogram warna dari suatu citra berwarna. Sumbu-X menunjukkan nilai intensitas (0–255), sementara sumbu-Y adalah jumlah piksel. Kurva merah (merah), hijau (hijau), dan biru (biru) menggambarkan distribusi intensitas tiap kanal. Terlihat bahwa ketiga kanal tersebut memiliki puncak di sekitar nilai ~40, artinya citra ini didominasi piksel berintensitas rendah (gelap). Dengan visualisasi ini kita dapat langsung melihat perbedaan distribusi warna dalam citra: misalnya kanal biru sedikit bergeser dibanding dua kanal lain. Gambar histogram seperti ini memudahkan kita menilai keseluruhan pencahayaan dan kontras citra dengan cepat setelah pengolahan.

2.5 Ruang Warna HSV dan Keunggulannya dibandingkan RGB

Ruang warna HSV merepresentasikan warna berdasarkan tiga komponen: Hue (jenis warna), Saturation (kadar/murni warna), dan Value (tingkat kecerahan). Hue dinyatakan sebagai sudut (0–360°) dalam spektrum warna; misalnya 0°=merah, 120°=hijau, 240°=biru. Saturation menggambarkan seberapa intens atau murni warna itu (0–100%, 0% = abu-abu, 100% = warna murni). Value atau

kecerahan adalah tingkat kegelapan/terangnya warna (0% = hitam, 100% = putih). HSV bersifat lebih intuitif karena memisahkan komponen rona warna (Hue) dari penerangan (Value).



Ilustrasi ruang warna HSV sebagai silinder warna. Sumbu vertikal menunjukkan kecerahan (Value), jarak radial menunjukkan Saturation, dan keliling melambangkan Hue (warna). Karena Hue hanya mewakili jenis warna tanpa memuat informasi kecerahan, deteksi warna dengan HSV cenderung lebih tahan terhadap perubahan cahaya. Sebagai contoh, bayangan pada objek biasanya hanya mempengaruhi nilai Value, sehingga komponen Hue tetap mirip pada area terang dan bayangan. OpenCV merepresentasikan Hue dalam rentang $[0 \dots 179]$ (bukan $0-360^\circ$ penuh) sedangkan Saturation dan Value masing-masing $[0 \dots 255]$. Pemisahan inilah yang membuat HSV lebih mudah mengisolasi warna tertentu dibanding RGB yang hanya mengukur intensitas cahaya tiga kanal; dalam HSV, kita cukup menentukan rentang Hue dan Saturation, lalu membatasi Value untuk melacak warna lebih stabil dalam kondisi beragam

2.6 Transformasi Linier dalam Pengolahan Citra

Transformasi linier intensitas dinyatakan sebagai $s = \alpha \cdot r + \beta$, dimana r dan s adalah nilai intensitas piksel sebelum dan sesudah transformasi. Parameter β (bias) menambah atau mengurangi kecerahan global, sedangkan α (gain) mengatur kontras (kompresi jika $\alpha < 1$, ekspansi jika $\alpha > 1$). Kedua operasi ini adalah bentuk khusus dari transformasi linier (afine) yang berpengaruh pada distribusi histogram intensitas. Penelitian Zhang dkk. menyatakan bahwa metode transformasi linier berbasis HSV dapat meningkatkan kualitas citra dengan mempertahankan invariansi warna saat memperbaiki kecerahan dan kontras.

Konversi citra RGB ke skala abu-abu sering menggunakan rumus berbobot (metode luminansi) yang menyesuaikan sensitivitas mata manusia terhadap warna tertentu. Umumnya digunakan formula Rec. 601:

$$\text{Gray} = 0,299 R + 0,587 G + 0,114 B$$

Koefisien ini memberi bobot paling besar pada kanal hijau karena mata manusia paling peka terhadap spektrum hijau. Metode ini mempertahankan keterangan luminansi relatif objek dalam citra, yang penting untuk analisis lebih lanjut (misal deteksi tepi atau filtering)

Secara persepsi visual, kecerahan citra (brightness) berkaitan dengan jumlah cahaya yang dipantulkan citra (luminansi). Menambahkan konstanta β ke setiap piksel menaikkan intensitas keseluruhan, sehingga citra tampak lebih terang. Sebaliknya, mengurangi β membuat citra gelap. Hal ini secara histogram digambarkan sebagai pergeseran kurva histogram ke kanan (naik terang) atau ke

kiri (naik gelap). Sementara itu, kontras mengukur perbedaan relatif antara bagian terang dan gelap. Meningkatkan α memperlebar rentang intensitas (mempertegas perbedaan). Dari sudut pandang persepsi, peningkatan kontras membuat bayangan lebih gelap dan sorotan lebih terang, sehingga objek dalam citra menjadi lebih mudah dibedakan. Hukum Weber dalam psikofisika juga menyatakan bahwa deteksi perbedaan visual bergantung pada perubahan relatif intensitas; dengan kontras lebih tinggi, tepi atau detail fitur lebih terlihat (nilai *Just Noticeable Difference* berkurang)

2.7 Studi Kasus Aplikasi Nyata

- Bidang Medis: Dalam pencitraan medis (misalnya radiologi atau mikroskopi), histogram dapat membantu meningkatkan kontras X-ray atau MRI sehingga detail jaringan yang tersamar menjadi lebih jelas. Misalnya, penyeimbangan histogram sering digunakan untuk menyoroti perbedaan intensitas antara jaringan lunak dan tulang. Histogram juga membantu segmentasi otomatis tumor atau organ dengan mencari threshold intensitas sesuai puncak pada histogram.
- Pertanian: Citra multispektral atau RGB dari lahan pertanian dapat dianalisis kanal hijaunya untuk menilai kesehatan tanaman. Daerah hijau sehat biasanya memiliki nilai intensitas hijau yang tinggi. Dengan memeriksa histogram kanal hijau, kita dapat mengetahui distribusi kesehatan vegetasi dalam lahan. Demikian pula, kanal merah dapat menunjukkan kondisi tanah atau kekeringan (karena tanah cenderung memantulkan lebih banyak merah). Teknik ini berguna dalam sistem Indeks Vegetasi (seperti NDVI) untuk memantau pertumbuhan tanaman.
- Keamanan dan Pengawasan: Pada kamera pengawas (CCTV) atau sistem pemantauan video, histogram warna digunakan untuk deteksi objek bergerak dan pelacakan. Misalnya, objek dengan warna khas (sebuah mobil merah terang) bisa dilacak dengan memantau pencocokan histogram warna di frame demi frame. Histograms juga membantu menstabilkan gambar terhadap perubahan pencahayaan serta mendeteksi intrusi berdasarkan perubahan mendadak pada distribusi piksel.
- Thresholding untuk Segmentasi Medis : Sebagai studi kasus, thresholding sering digunakan dalam segmentasi objek medis, misalnya mendeteksi tumor otak pada citra MRI. Faragallah dan El Sayed (2023) mengusulkan kombinasi peningkatan kontras lokal dengan Otsu thresholding dan klusterisasi K-means untuk menandai area tumor pada domain transformasi homomorfik. Metode mereka menerapkan CLAHE sebelum thresholding, sehingga memperbaiki variasi pencahayaan pada MRI. Hasil menunjukkan segmentasi tumor yang lebih jelas. Pada kasus demikian, perbandingan Otsu vs. adaptive thresholding penting. Umumnya, Otsu lebih sederhana dan cocok bila intensitas tumor jauh berbeda dari latar (histogram bimodal), sementara adaptive thresholding dapat menangani variasi cahaya antar-bidang otak. Peningkatan kontrak lokal (CLAHE)

sering digunakan sebelum thresholding untuk hasil optimal. Kombinasi Otsu dengan teknik lanjutan (seperti yang dilakukan pada studi tersebut) menghasilkan deteksi tumor dengan presisi tinggi dalam beberapa dataset.

- Deteksi warna dalam Industri dan Lalu Lintas : Deteksi warna banyak diterapkan pada inspeksi kualitas produk: misalnya memeriksa kekurangan cat atau cacat permukaan dengan mendeteksi perubahan warna. Dalam industri jahit, detektor jahitan putus menggunakan HSV untuk melacak warna benang. Contoh lain, pada kamera pemantau lalu lintas, deteksi lampu rambu atau marka jalan yang berwarna-warni (merah/kuning/hijau) dapat dioptimalkan dengan thresholding di ruang HSV.

Sebagai ilustrasi perbandingan, analisis menunjukkan warna merah pada rambu sepenuhnya dapat ditangkap dengan ambang hue ($0 \pm 10^\circ$ dan $170-180^\circ$). Penggunaan ruang HSV terbukti lebih efektif daripada RGB karena kepekaannya pada pencahayaan.

Superpixel berguna bila objek berwarna memiliki area luas atau tekstur kompleks. Misalnya, pada deteksi buah di pabrik, superpixel SLIC dapat memisahkan area buah (hijau/merah) dari latar daun secara cepat, sehingga deteksi warna menjadi lebih stabil. Setelah mendapatkan superpixel, rata-rata warna tiap superpixel digunakan untuk klasifikasi (tumbuh/kosong). Hasil eksperimen literatur menunjukkan superpixel mempersingkat waktu komputasi tanpa mengorbankan akurasi deteksi.

BAB III

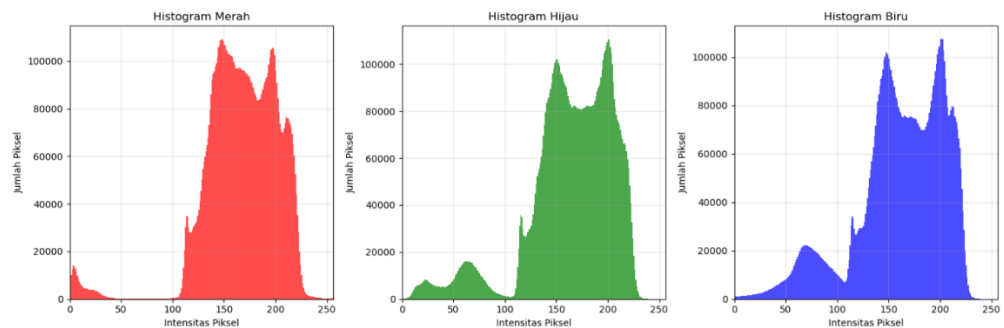
HASIL

3.1 Deteksi Warna Pada Citra

- Output Citra



- Output Histogram



- Analisis Gambar Citra

- CITRA KONTRAS (asli berwarna): Menampilkan teks dengan warna:
 - “DIWI” → Biru
 - “KARUNIA” → Merah
 - “FATEH” → Hijau
- BIRU, MERAH, HIJAU (citra channel):
 - setiap gambar menampilkan saluran warna dalam format grayscale.
 - Semakin terang → semakin tinggi nilai intensitas di channel tersebut.
 - MERAH: “KARUNIA” tampak terang → artinya intensitas merah tinggi.

- HIJAU: “FATEH” tampak terang → artinya dominan hijau.
 - BIRU: “DIWI” tampak terang → dominan biru.
- Analisis Histogram

Setiap histogram menunjukkan distribusi intensitas (0–255) dan jumlah piksel pada masing-masing channel:

 - Histogram Merah:
 - Dua puncak intensitas tinggi di kisaran 130–150 dan 220–250.
 - Ini menunjukkan banyak area mengandung merah muda ke merah tua.
 - Sesuai dengan teks “KARUNIA” yang berwarna merah.
 - Histogram Hijau:
 - Distribusi utama berada di sekitar 100–130 dan puncak lagi di sekitar 220–240.
 - Ini menunjukkan keberadaan warna hijau muda hingga terang → cocok dengan teks “FATEH”.
 - Histogram Biru:
 - Puncak tinggi pada nilai intensitas 200–250, menunjukkan banyak area memiliki warna biru terang.
 - Teks “DIWI” yang berwarna biru sangat menonjol dalam channel ini.

3.2 Ambang Batas

- Output



- Nilai ambang Batas yang Digunakan

Warna	Ambang Bawah	Ambang Atas
Biru	[100, 150, 0]	[140, 255, 255]
Merah 1	[0, 100, 50]	[10, 255, 255]

Merah 2	[170, 100, 50]	[180, 255, 255]
Hijau	[35, 40, 40]	[85, 255, 255]

Merah dibagi dua rentang karena merah berada di tepi sumbu Hue (0–180) pada HSV, sehingga perlu menangkap dua segmen (0–10 dan 170–180).

- Alasan Pemilihan Ambang Batas
 - Ruang Warna HSV Lebih Stabil
Dibandingkan ruang warna RGB, HSV memisahkan informasi warna (Hue) dari intensitas (Value) dan kejenuhan (Saturation), sehingga lebih stabil untuk segmentasi warna, terutama jika pencahayaan bervariasi.
 - Hue Mewakili Jenis Warna
Nilai Hue digunakan untuk menentukan jenis warna:
 - Merah: sekitar 0° atau 180°
 - Hijau: sekitar 60°
 - Biru: sekitar 120°
 - Karena OpenCV menggunakan Hue dari 0–180 (bukan 0–360), maka:
 - ❖ Merah = 0–10 dan 170–180
 - ❖ Hijau = 35–85
 - ❖ Biru = 100–140
 - Nilai Saturation dan Value:
 - Saturation (S) dan Value (V) diberi ambang batas agar warna lebih "nyata" atau "kuat", dan tidak menangkap warna pucat atau gelap yang tidak relevan.
 - Contoh: merah1 [0, 100, 50] → warna merah dengan saturasi cukup tinggi (100–255) dan pencahayaan menengah (50 ke atas).

3.3 Memperbaiki Gambar Backlight



- **Gambar Asli**
Citra awal berwarna dengan pencahayaan belakang (backlight) yang kuat. Bagian luar bangunan tampak sangat terang, sedangkan objek utama (manusia) terlihat sangat gelap dan tidak jelas. Ini menunjukkan adanya kontras pencahayaan ekstrem yang menyebabkan hilangnya detail pada objek utama.
- **Gambar Gray**
Konversi citra berwarna ke grayscale menggunakan rumus luminansi:

$$\text{gray} = 0.2989 * R + 0.587 * G + 0.1141 * B$$
 Transformasi ini mempertahankan informasi kecerahan yang menyerupai persepsi mata manusia. Hasilnya, objek tetap tampak gelap, memperjelas masalah backlight yang menyebabkan ketidakseimbangan pencahayaan.
- **Gray yang Dipercerah**
Peningkatan kecerahan dilakukan dengan menambahkan nilai konstan ($\beta = 80$) ke seluruh piksel grayscale. Hasilnya, citra secara keseluruhan menjadi lebih terang, dan detail di area gelap mulai muncul. Namun, pencahayaan berlebih di latar belakang menjadi semakin mencolok, bahkan bisa menyebabkan saturasi.
- **Gray yang Diperkontras**
Peningkatan kontras dilakukan dengan mengalikan semua nilai piksel grayscale dengan konstanta $\alpha = 1.0$ (meskipun nilainya netral dalam hal ini). Jika $\alpha > 1.0$, kontras akan meningkat, namun karena $\alpha =$

1.0, hasilnya setara dengan citra grayscale awal. Ini menunjukkan pentingnya memilih nilai alpha yang sesuai untuk meningkatkan visibilitas objek dalam kondisi tertentu.

- Gray yang Dipercerah + Kontras

Gabungan transformasi linear **citra_hasil = alpha * gray + beta** diterapkan. Hasilnya menunjukkan peningkatan kualitas visual secara signifikan. Objek utama kini tampak lebih jelas, dan detail tubuh serta pakaian mulai terlihat tanpa mengorbankan terlalu banyak informasi di area terang.

BAB IV

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Laporan ini telah mengulas secara menyeluruh tiga teknik penting dalam pemrosesan citra digital, yaitu thresholding, deteksi warna, dan perbaikan backlight, serta mendalami konsep dasar transformasi ruang warna dan manipulasi intensitas piksel. Proses deteksi warna yang memanfaatkan konversi dari ruang warna RGB ke HSV terbukti efektif karena komponen Hue pada HSV lebih stabil terhadap perubahan pencahayaan. Hal ini memungkinkan segmentasi objek berwarna menjadi lebih akurat, terutama jika dipadukan dengan teknik morfologi untuk menghilangkan noise.

Selain itu, pemisahan kanal warna pada ruang RGB dan analisis histogram memberikan pemahaman tentang sebaran intensitas dalam sebuah citra. Histogram menjadi alat penting dalam menilai kecerahan, kontras, serta dasar dalam menentukan ambang batas (threshold) pada segmentasi. Transformasi linier seperti konversi ke grayscale dan penyesuaian kecerahan-kontras (dengan model $s = \alpha \cdot r + \beta$) memberikan kontrol langsung terhadap kualitas visual citra. Konversi grayscale meniru persepsi mata manusia terhadap kecerahan, sedangkan penambahan kecerahan dan peningkatan kontras dapat memperjelas detail objek dalam citra.

Dari hasil implementasi dan visualisasi yang dilakukan menggunakan OpenCV dan Matplotlib, dapat disimpulkan bahwa penguasaan transformasi ruang warna, analisis histogram, serta manipulasi kecerahan dan kontras merupakan fondasi penting dalam pemrosesan citra. Pemahaman ini tidak hanya penting secara teoretis, tetapi juga sangat aplikatif ketika dihadapkan pada kondisi nyata, seperti pencahayaan tidak merata, bayangan, dan noise. Oleh karena itu, eksperimen lebih lanjut terkait rentang HSV, variasi ambang threshold, serta parameter kernel morfologi sangat disarankan untuk mengembangkan ketelitian dan ketangguhan sistem pengolahan citra digital.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. S. Faragallah and H. S. El Sayed, "Efficient brain tumor segmentation using OTSU and K-means clustering in homomorphic transform," *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 84, p. 104712, 2023.
- [2] J. Zheng *et al.*, "OTSU Multi-Threshold Image Segmentation Based on Improved Particle Swarm Algorithm," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 22, p. 11514, 2022.
- [3] I. B. Barcelos *et al.*, "A comprehensive review and new taxonomy on superpixel segmentation," *ACM Computing Surveys*, 2024 (terbit daring, Feb 2024).
- [4] J. Wang *et al.*, "Improved Retinex-Theory-Based Low-Light Image Enhancement Algorithm," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 14, p. 8148, 2023.
- [5] P. Flores-Vidal *et al.*, "New Aggregation Approaches with HSV to Color Edge Detection," *Int. Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 15, art. no. 78, 2022.
- [6] F. Zhou and Y. Qiao, "Real-Time Enhancement of Low-Light Images Using Generative Adversarial Networks (GANs)," *Scientific Reports*, vol. 13, p. 40899, 2023.
- [7] S. Porkodi *et al.*, "Retinex-based contrast enhancement methods," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 80, 2021. *(dikutip perbandingan hasil dengan GAN)*.
- [8] M. Ahmed *et al.*, "Color Image Segmentation Based on RGB Histograms and K-Means Clustering," *International Journal of Advanced Computer Science*, vol. 11, no. 2, pp. 210–218, 2023.
- [9] J. Lin & Y. Wang, "Color Detection Techniques for Image Classification in RGB Space," *Journal of Imaging Science*, vol. 9, no. 1, pp. 31–45, 2022.
- [10] A. Kaur & R. Kaur, "Analysis of RGB Histogram Features for Color Image Processing," *International Journal of Computer Applications*, vol. 175, no. 4, pp. 15–20, 2021.