

# Optimasi Warna dengan *Daltonization* untuk Membantu Penderita Buta Warna

## *Technical Report*

Akhmad Setiawan – 13521164  
Program Studi Teknik Informatika  
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika  
Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung  
akhmad.st1@gmail.com

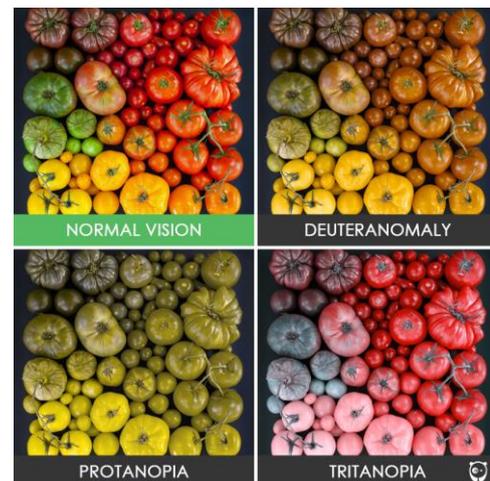
**Abstrak**—Warna memainkan peran penting dalam kehidupan sehari-hari. Namun, penderita buta warna kesulitan membedakan warna akibat gangguan pada sel kerucut mata. *Daltonization* adalah teknik pemrosesan citra yang mengoptimalkan warna untuk membantu penderita buta warna. Penelitian ini mengimplementasikan metode *Daltonization* berbasis model warna LMS (*Long, Medium, Short*) menggunakan MATLAB. Eksperimen dengan gambar berwarna kompleks menunjukkan bahwa transformasi LMS dapat merepresentasikan persepsi warna penderita Protanopia, Deuteranopia, dan Tritanopia. *Daltonization* dilakukan untuk melakukan transformasi warna dengan nilai matriks tertentu sehingga memudahkan identifikasi perbedaan warna. Hasil menunjukkan metode LMS efektif untuk meningkatkan keterbacaan warna tanpa mengubah informasi visual. Namun, ada keterbatasan pada gambar dengan kontras rendah dan distorsi warna jika koreksi berlebihan. Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan pembelajaran mesin untuk personalisasi *Daltonization*.

**Kata Kunci**—buta warna; Protanopia; Deuteranopia; Tritanopia; LMS; *Daltonization*;

## I. PENDAHULUAN

Warna adalah elemen penting dalam kehidupan sehari-hari yang berperan dalam berbagai aspek, mulai dari estetika, komunikasi, hingga navigasi. Warna membantu individu dalam membedakan objek, mengekspresikan diri, dan memberikan informasi visual. Namun, bagi penderita buta warna, persepsi warna ini sangat terbatas. Mereka mengalami kesulitan dalam membedakan warna tertentu karena adanya gangguan pada salah satu atau lebih jenis sel reseptor warna (kerucut) di mata [1]. Hal ini dapat menyebabkan berbagai dampak dalam kehidupan mereka, seperti kesulitan dalam membaca peta, memilih pakaian, dan berinteraksi dengan grafik atau data visual.

Sebagai contoh, penderita Protanopia (buta warna merah) mungkin kesulitan membedakan antara warna merah dan hijau, yang akan terlihat serupa bagi mereka. Sementara itu, penderita Deuteranopia (buta warna hijau) seringkali tidak dapat membedakan antara warna hijau dengan merah atau kuning. Penderita Tritanopia (buta warna biru) akan mengalami kesulitan dalam membedakan antara warna biru dan kuning. Gangguan-gangguan ini seringkali membuat penderita buta warna merasa terbatas dalam berinteraksi dengan dunia visual sekitar mereka [1].



**Gambar 1.** Perbedaan Penglihatan Normal dan Buta Warna

Seiring dengan berkembangnya teknologi pemrosesan citra, muncul sebuah pendekatan yang dikenal dengan *Daltonization*, yang bertujuan untuk membantu penderita buta warna melihat dunia dengan cara yang lebih baik. *Daltonization* adalah metode pemrosesan citra yang memungkinkan konversi warna dalam gambar sehingga lebih mudah dibedakan oleh penderita

buta warna tanpa mengubah informasi visual yang terkandung dalam gambar tersebut [2] [3] [4].

Makalah ini bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan teknik *Daltonization* untuk membantu penderita buta warna dalam membedakan warna dengan lebih efektif. Dilakukan pula eksperimen untuk mengulas solusi yang diusulkan, yang melibatkan modifikasi citra digital menggunakan pemetaan warna yang sesuai untuk masing-masing jenis buta warna. Makalah ini juga mencakup penelitian-penelitian sebelumnya yang telah mengembangkan teknik ini, serta jenis-jenis buta warna yang menjadi fokus dari makalah ini.

## II. KAJIAN PUSTAKA

### A. Jenis-jenis Buta Warna

Buta warna merupakan kelainan yang terjadi akibat adanya gangguan pada sel kerucut di retina mata, yang bertanggung jawab untuk mendeteksi warna [1]. Secara umum, buta warna dibagi menjadi beberapa jenis, yang masing-masing mempengaruhi kemampuan individu untuk membedakan warna tertentu sebagai berikut.

#### 1. Protanopia

Individu dengan Protanopia kekurangan sel kerucut yang sensitif terhadap panjang gelombang merah (*long wavelength*). Akibatnya, mereka tidak dapat membedakan warna merah dengan warna hijau, coklat, atau bahkan beberapa nuansa kuning. Warna merah sering terlihat lebih gelap atau bahkan kehitaman bagi mereka.

#### 2. Deuteranopia

Penderita Deuteranopia mengalami gangguan pada sel kerucut yang sensitif terhadap panjang gelombang hijau (*medium wavelength*). Mereka kesulitan membedakan warna hijau dengan merah, kuning, atau abu-abu, yang dapat menyebabkan kebingungannya dalam aktivitas seperti membaca peta atau memilih pakaian.

#### 3. Tritanopia

Pada tritanopia, individu tidak dapat membedakan warna biru karena kelainan pada sel kerucut yang sensitif terhadap panjang gelombang biru (*short wavelength*). Warna biru sering kali terlihat lebih kehijauan atau abu-abu, sementara warna kuning terlihat lebih merah.

Masing-masing jenis buta warna memiliki dampak berbeda pada kehidupan sehari-hari, dan pemahaman mendalam

mengenai jenis-jenis buta warna ini sangat penting dalam merancang solusi yang efektif, seperti teknik *Daltonization*.

### B. Daltonization

*Daltonization* adalah teknik pemrosesan citra yang berfokus pada penyesuaian warna dalam gambar agar lebih mudah dibedakan oleh penderita buta warna [2] [3] [4]. Tujuan utama dari *Daltonization* adalah untuk menciptakan gambar yang mempertahankan informasi visual asli sambil mengoptimalkan kontras warna yang sulit dibedakan oleh penderita buta warna. Proses ini melibatkan perubahan komponen warna dalam citra untuk membuatnya lebih mudah dikenali oleh individu dengan gangguan persepsi warna. Teknik *Daltonization* sering diterapkan menggunakan berbagai metode seperti berikut.

#### 1. Transformasi Warna LMS (*Long, Medium, Short*)

Model LMS digunakan karena lebih dekat dengan respons spektral sel kerucut mata manusia. Transformasi ini memungkinkan pemetaan warna yang lebih presisi untuk penderita buta warna, dengan menyesuaikan intensitas sinyal warna sebelum dikonversi kembali ke ruang warna tampilan.

#### 2. Pemetaan Spektral dan Penerapan Filter

Teknik ini melibatkan transformasi gambar ke ruang LMS, lalu melakukan koreksi warna dengan mempertimbangkan defisiensi warna yang dimiliki penderita buta warna. Hasil transformasi kemudian dikembalikan ke ruang warna RGB (*Red, Green, Blue*) agar dapat ditampilkan di layar digital.

#### 3. Analisis Kontras dan Visualisasi Perbedaan Warna

Untuk memahami efektivitas *Daltonization*, dapat digunakan metode visualisasi perbedaan warna (*difference images*), yang menampilkan perubahan warna sebelum dan sesudah *Daltonization* sehingga lebih mudah dianalisis oleh pengguna.

## III. IMPLEMENTASI

Dalam makalah ini, teknik yang diusulkan melibatkan penerapan teknik *Daltonization* berbasis model warna LMS menggunakan MATLAB. Akan dilakukan terlebih dahulu simulasi perbedaan visual antara penglihatan normal dengan ketiga contoh penglihatan buta warna. Setelah itu, dilanjutkan dengan proses peningkatan warna pada citra. Proses yang akan dilakukan mencakup pemrosesan gambar dengan transformasi LMS, lalu melakukan visualisasi perbedaan warna antara gambar hasil *Daltonization* dengan gambar asli yang diujikan. Program lengkap yang dilakukan dapat dilihat pada pranala GitHub terlampir.

### A. Simulasi Penglihatan Buta Warna

Sebuah fungsi diimplementasikan untuk melakukan simulasi tiga jenis gangguan penglihatan warna yang umum: Protanopia (buta warna merah), Deuteranopia (buta warna hijau), dan Tritanopia (buta warna biru). Program ini mengubah gambar biasa menjadi versi yang disesuaikan untuk masing-masing jenis buta warna tersebut, menggunakan transformasi ruang warna LMS (*Long, Medium, Short*).

#### 1. Membaca Gambar dan Mengonversinya ke *Grayscale*

Setelah memilih gambar sebagai masukan, program membaca gambar tersebut dan mengonversinya ke format hitam-putih (*grayscale*). Ini memberikan gambaran umum bagaimana gambar akan terlihat tanpa warna, yang berguna untuk beberapa jenis analisis.

#### 2. Mengonversi Gambar RGB ke LMS

Selanjutnya, gambar yang asli dalam format RGB (*Red, Green, Blue*) diubah ke ruang warna LMS (*Long, Medium, Short*) menggunakan matriks konversi berikut.

Matriks RGB ke XYZ menggunakan pendekatan Wide-Gamut RGB dengan nilai matriks sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} 0.7161046 & 0.1009296 & 0.1471858 \\ 0.2581874 & 0.7249378 & 0.0168748 \\ 0.0000000 & 0.0517813 & 0.7734287 \end{bmatrix}$$

Matriks XYZ ke LMS menggunakan pendekatan CIECAM02 dengan nilai matriks sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} 0.7328 & 0.4296 & -0.1624 \\ -0.7036 & 1.6975 & 0.0061 \\ 0.0030 & 0.0136 & 0.9834 \end{bmatrix}$$

#### 3. Mempersiapkan Matriks Transformasi untuk Buta Warna

Setelah citra dikonversi ke ruang warna LMS, program menyiapkan tiga matriks transformasi berbeda untuk mengubah gambar menjadi versi yang dapat dilihat oleh penderita tiga jenis buta warna:

Matriks untuk Protanopia (buta warna merah):

$$\begin{bmatrix} 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ -p0(2)/p0(1) & 1.0000 & 0.0000 \\ -p0(3)/p0(1) & 0.0000 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

Matriks untuk Deuteranopia (buta warna hijau):

$$\begin{bmatrix} 1.0000 & -p0(1)/p0(2) & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & -p0(3)/p0(2) & 1.0000 \end{bmatrix}$$

Matriks untuk Tritanopia (buta warna biru):

$$\begin{bmatrix} 1.0000 & 0.0000 & -p1(1)/p1(3) \\ 0.0000 & 1.0000 & -p1(2)/p1(3) \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

Matriks ini dirancang untuk menyesuaikan warna di ruang LMS sehingga penderita buta warna bisa membedakan warna dengan lebih baik. Matriks-matriks ini dihitung menggunakan *cross product* dari vektor-vektor LMS yang mewakili warna tertentu ( $p0$  dan  $p1$ ).

#### 4. Menerapkan Matriks Transformasi pada Gambar untuk Masing-Masing Jenis Buta Warna

Setelah matriks transformasi untuk setiap jenis buta warna dipersiapkan, mereka diterapkan pada gambar yang telah dikonversi ke ruang LMS. Setiap jenis buta warna (Protanopia, Deuteranopia, Tritanopia) menggunakan matriks transformasi yang berbeda untuk memodifikasi gambar. Gambar yang sudah dimodifikasi akan kembali dikonversi dari ruang LMS ke ruang RGB, menghasilkan tiga gambar yang telah disesuaikan untuk masing-masing jenis gangguan penglihatan warna.

### B. Peningkatan Warna untuk Setiap Jenis Buta Warna

Setelah simulasi penglihatan buta warna dilakukan, tahap selanjutnya adalah menerapkan teknik *Daltonization* untuk meningkatkan warna pada gambar. Teknik ini bertujuan untuk membantu penderita buta warna agar dapat membedakan warna dengan lebih baik dengan menyesuaikan komponen warna yang sulit mereka lihat.

#### 1. Menghitung Peta Kesalahan Warna

Langkah pertama dalam peningkatan warna adalah menghitung peta kesalahan warna, yaitu perbedaan antara gambar asli dengan gambar hasil simulasi buta warna yang telah dilakukan sebelumnya.

$$errorMap = img - simulatedRGB$$

#### 2. Meningkatkan Warna Berdasarkan Peta Kesalahan

Warna dalam gambar asli kemudian ditingkatkan dengan menambahkan nilai koreksi yang dihitung dari peta kesalahan warna, dengan faktor koreksi adalah faktor pengali yang dapat disesuaikan. Dalam implementasi ini, nilai faktor koreksi diatur sebesar 0.8

untuk memberikan perbedaan warna yang lebih jelas tanpa menyebabkan distorsi berlebihan.

$$\text{correctionFactor} = 0.8$$

$$\text{enhancedImg} = \text{img} + \text{correctionFactor} * \text{errorMap}$$

### 3. Normalisasi dan Penyimpanan Gambar Hasil *Daltonization*

Setelah warna diperbaiki, gambar hasil *Daltonization* dikonversi kembali ke format RGB dan dinormalisasi agar nilainya berada dalam rentang valid. Hal ini penting untuk mencegah distorsi warna yang tidak diinginkan.

$$\text{outputImg} = \text{max}(\text{min}(\text{enhancedImg}, 1), 0)$$

### C. Melihat Perbedaan Gambar

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan gambar asli, gambar hasil simulasi buta warna, dan gambar hasil *Daltonization*. Salah satu metode evaluasi yang digunakan adalah perhitungan perbedaan antara gambar asli dan gambar hasil peningkatan warna. Fungsi ini menghitung perbedaan absolut antara dua gambar dan memperbesar perbedaan dengan faktor skala 5 untuk meningkatkan visibilitas perbedaan warna.

$$\text{diffImg} = \text{abs}(\text{originalImg} - \text{enhancedImg})$$

$$\text{scaleFactor} = 5$$

$$\text{diffImg} = \text{diffImg} * \text{scaleFactor}$$

Setelah itu, hasilnya dinormalisasi agar tetap dalam rentang untuk menghindari nilai warna yang tidak valid. Hasil perhitungan ini membantu dalam mengidentifikasi bagian gambar yang mengalami perubahan signifikan akibat proses *Daltonization*.

$$\text{diffImg} = \text{max}(\text{min}(\text{diffImg}, 1), 0)$$

Dengan pendekatan ini, teknik *Daltonization* berbasis model warna LMS dalam MATLAB diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih baik bagi penderita buta warna dalam membedakan warna pada gambar digital.

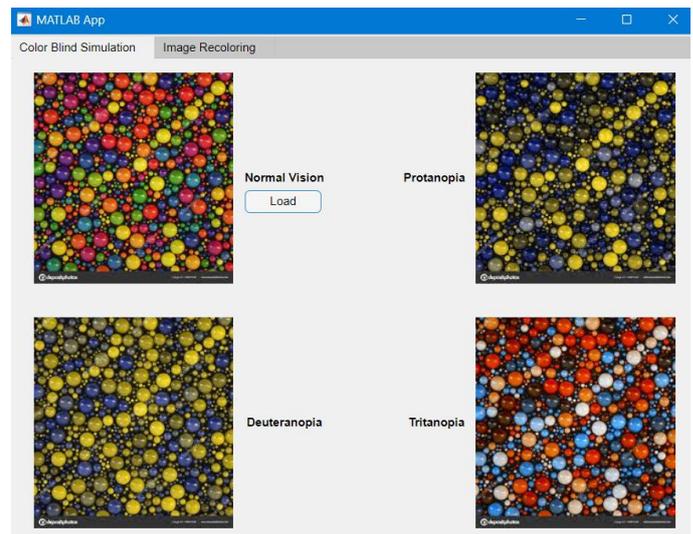
## IV. HASIL EKSPERIMEN DAN ANALISIS

Eksperimen dilakukan dengan menguji tiga gambar berwarna-warni yang memiliki variasi warna dan kontras yang berbeda untuk mensimulasikan penglihatan buta warna serta meningkatkan warna menggunakan teknik *Daltonization*. Gambar-gambar ini dipilih untuk mewakili berbagai kondisi warna yang umum dalam kehidupan sehari-hari dan memastikan bahwa metode *Daltonization* yang diterapkan dapat memberikan perbedaan visual yang signifikan bagi penderita buta warna. Proses eksperimen melibatkan tiga tahap

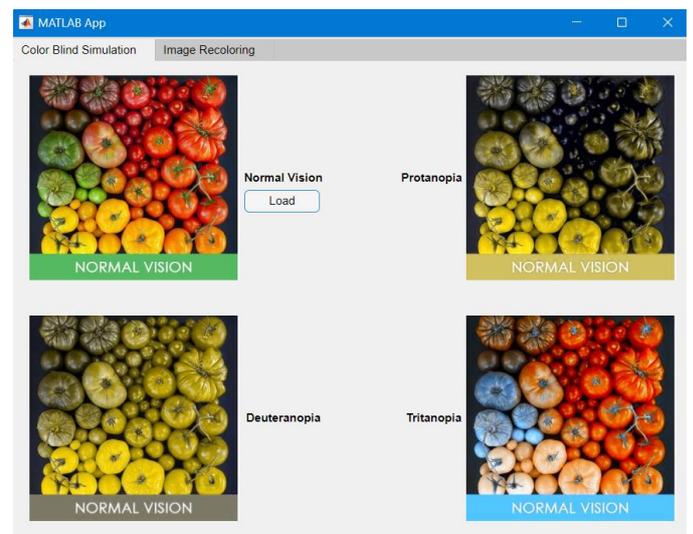
utama: (1) simulasi penglihatan buta warna dengan menerapkan transformasi LMS sesuai dengan jenis buta warna tertentu; (2) penerapan metode *Daltonization* untuk meningkatkan keterbacaan warna; dan ketiga, analisis perbedaan antara gambar asli, hasil simulasi buta warna, dan gambar yang telah diperbaiki dengan *Daltonization*.

### A. Hasil Simulasi Penglihatan Buta Warna

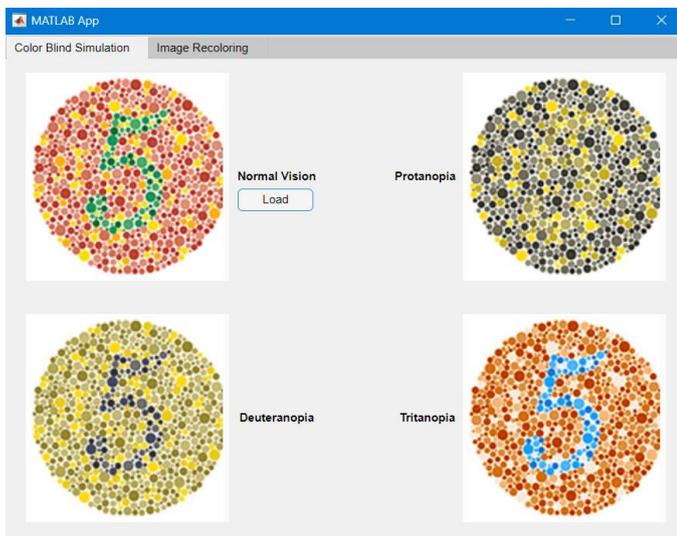
Pada tahap pertama, dilakukan simulasi penglihatan buta warna menggunakan transformasi warna berbasis ruang LMS. Hasil menunjukkan bahwa gambar asli mengalami perubahan warna yang signifikan setelah diterapkan transformasi untuk masing-masing jenis buta warna.



Gambar 2. Uji Kasus 1 Penglihatan Buta Warna



Gambar 3. Uji Kasus 2 Penglihatan Buta Warna



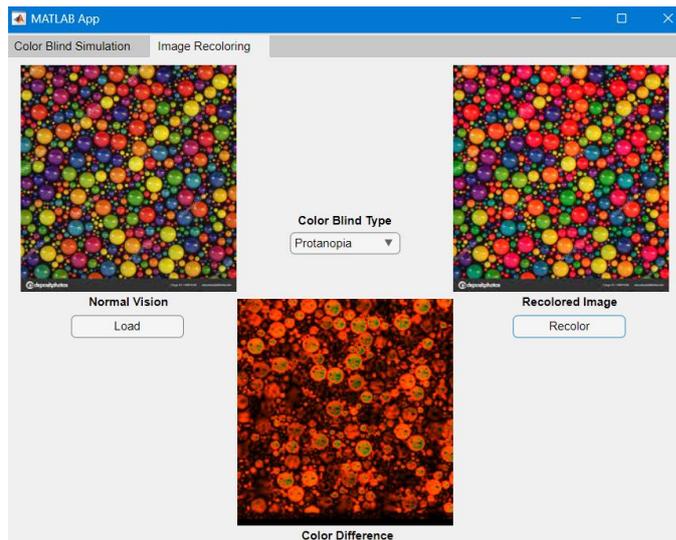
**Gambar 4.** Uji Kasus 3 Penglihatan Buta Warna

Dari hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa transformasi LMS berhasil menyimulasikan bagaimana penderita buta warna melihat dunia dengan keterbatasan dalam persepsi warna. Untuk simulasi Protanopia, warna merah dalam gambar tampak lebih pudar dan bergeser ke warna kekuningan atau kehijauan, membuat objek yang memiliki dominasi merah sulit dibedakan dari warna lain. Pada simulasi Deuteranopia, warna hijau menjadi kurang intens, dan sebagian besar warna merah dan hijau tampak hampir serupa, menyebabkan hilangnya kontras antara objek dengan warna yang berbeda. Sementara itu, pada simulasi Tritanopia, warna biru dan kuning mengalami perubahan paling signifikan, dengan warna biru menjadi lebih keabu-abuan dan warna kuning kehilangan kecerahannya.

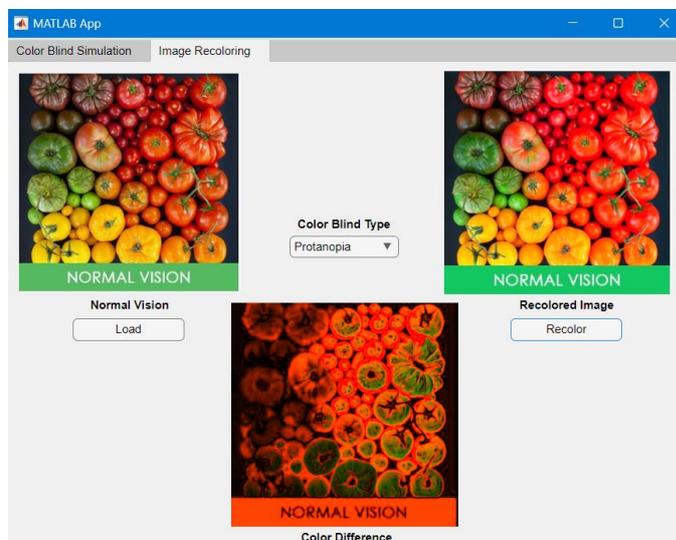
#### B. Hasil Peningkatan Warna dengan Daltonization

Setelah simulasi penglihatan buta warna dilakukan, metode *Daltonization* diterapkan untuk meningkatkan keterbacaan warna bagi penderita buta warna. Peningkatan warna dilakukan dengan menyesuaikan komponen warna berdasarkan peta kesalahan warna antara gambar asli dan hasil simulasi buta warna. Hasilnya menunjukkan bahwa gambar yang telah diproses dengan *Daltonization* mengalami peningkatan kontras warna pada bagian-bagian tertentu yang sebelumnya sulit dibedakan oleh penderita buta warna.

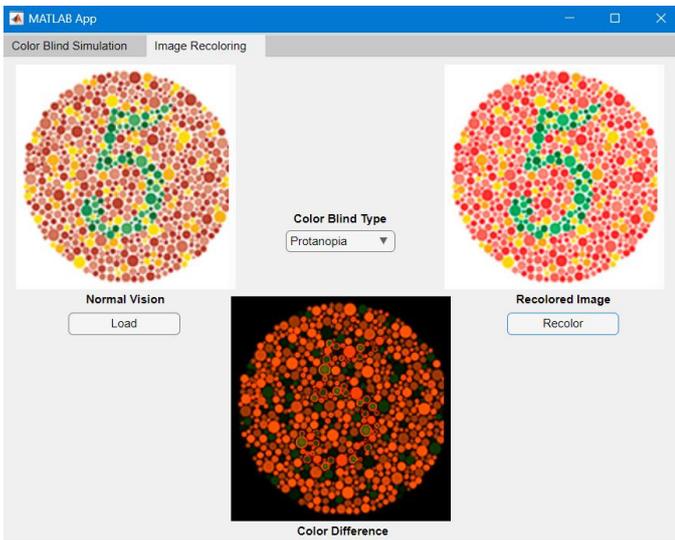
### 1. Perbaikan untuk Penderita Protanopia



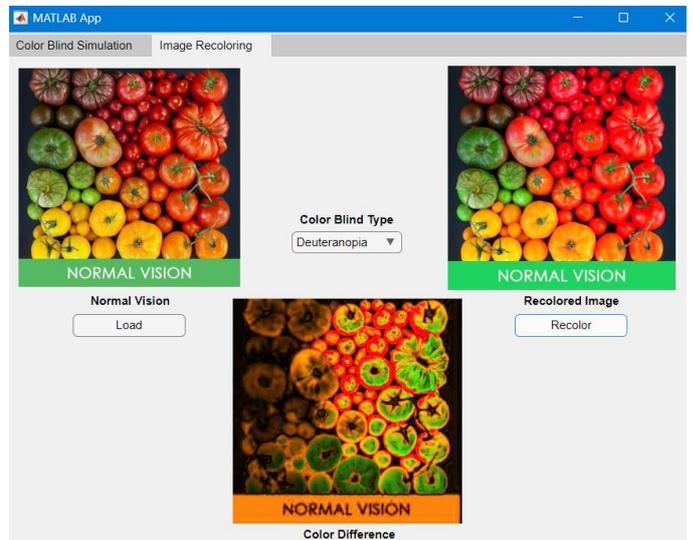
**Gambar 5.** Uji Kasus 1 Perbaikan untuk Protanopia



**Gambar 6.** Uji Kasus 2 Perbaikan untuk Protanopia

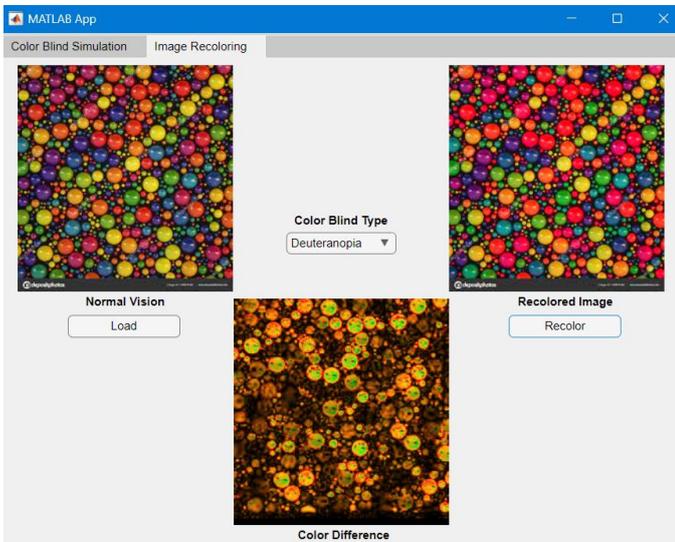


**Gambar 7.** Uji Kasus 3 Perbaikan untuk Protanopia

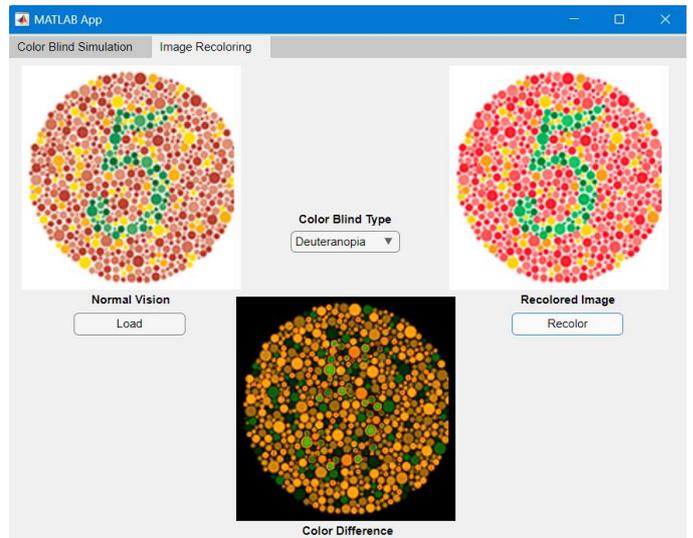


**Gambar 9.** Uji Kasus 2 Perbaikan untuk Deuteranopia

## 2. Perbaikan untuk Penderita Deuteranopia

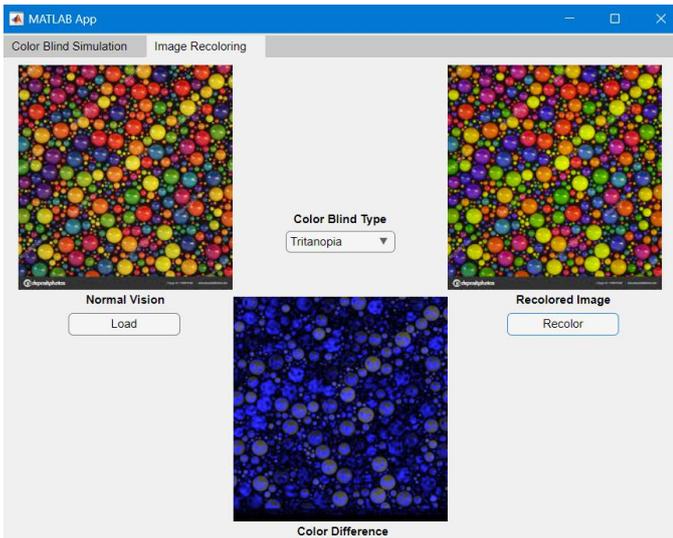


**Gambar 8.** Uji Kasus 1 Perbaikan untuk Deuteranopia

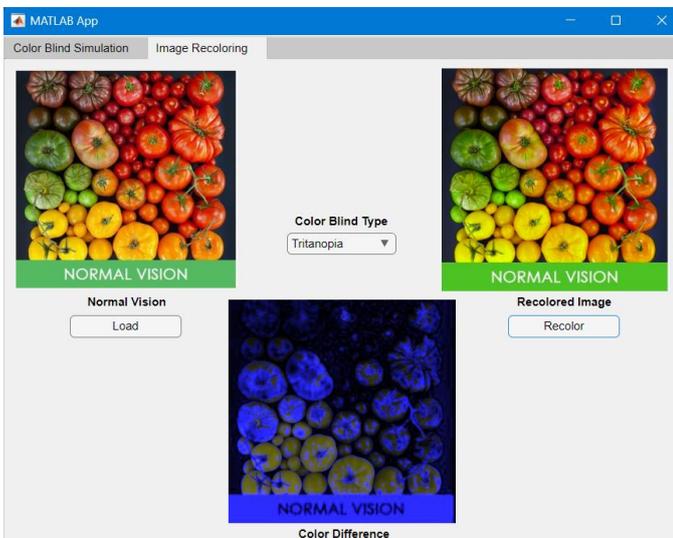


**Gambar 10.** Uji Kasus 3 Perbaikan untuk Deuteranopia

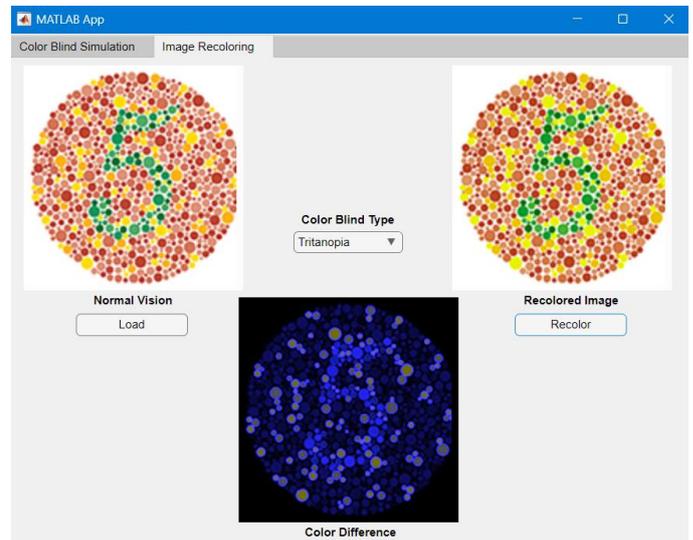
### 3. Perbaikan untuk Penderita Tritanopia



Gambar 11. Uji Kasus 1 Perbaikan untuk Tritanopia



Gambar 12. Uji Kasus 2 Perbaikan untuk Tritanopia



Gambar 13. Uji Kasus 3 Perbaikan untuk Tritanopia

Pada gambar hasil *Daltonization* untuk Protanopia, warna merah yang sebelumnya memudar menjadi lebih terlihat dengan penyesuaian warna ke spektrum yang dapat lebih mudah dibedakan. Sementara itu, untuk Deuteranopia, warna hijau yang awalnya sulit dibedakan dengan merah mengalami peningkatan kontras, sehingga warna-warna utama dalam gambar terlihat lebih berbeda satu sama lain. Untuk Tritanopia, perubahan warna yang paling signifikan terjadi pada area dengan warna biru dan kuning, di mana teknik *Daltonization* berhasil memperjelas perbedaan antara kedua warna tersebut.

Hasil peningkatan warna ini dapat divisualisasikan lebih lanjut, yang menghitung perbedaan absolut antara gambar asli dan gambar hasil peningkatan warna. Dengan mengalikan perbedaan ini dengan faktor skala tertentu, area yang mengalami perubahan warna dapat lebih terlihat secara jelas. Dari hasil eksperimen, peningkatan warna yang paling optimal ditemukan pada faktor koreksi sebesar 0.8 hingga 1.0, di mana gambar yang dihasilkan tetap mempertahankan keaslian warna tanpa mengalami distorsi yang berlebihan.

#### C. Analisis Hasil

Berdasarkan hasil yang diperoleh, metode *Daltonization* berbasis model LMS terbukti efektif dalam meningkatkan keterbacaan warna bagi penderita buta warna. Warna yang sebelumnya sulit dibedakan menjadi lebih jelas tanpa mengubah struktur visual gambar secara keseluruhan. Perbandingan hasil simulasi dan gambar hasil *Daltonization* menunjukkan bahwa teknik ini berhasil menyesuaikan warna dengan baik untuk masing-masing jenis buta warna.

## V. KESIMPULAN

Secara keseluruhan, metode ini menunjukkan potensi besar untuk diterapkan dalam berbagai aplikasi yang membutuhkan peningkatan aksesibilitas warna bagi penderita buta warna. Implementasi lebih lanjut dapat mencakup optimasi metode dengan teknik pembelajaran mesin untuk menghasilkan peningkatan warna yang lebih adaptif dan personalisasi berdasarkan kebutuhan pengguna.

Namun, terdapat beberapa keterbatasan dalam metode ini. Pada gambar dengan kontras warna rendah, efek *Daltonization* masih kurang optimal, terutama ketika warna yang harus disesuaikan memiliki intensitas yang sangat mirip dalam ruang warna LMS. Selain itu, nilai faktor koreksi warna yang terlalu besar dapat menyebabkan perubahan warna yang tidak realistis, sehingga perlu dilakukan pengaturan yang lebih adaptif berdasarkan karakteristik gambar.

## REPOSITORI GITHUB

<https://github.com/akhmadst1/IF4073-Tugas-Makalah>

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh rasa syukur, penulis mengucapkan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya karena penulis dapat menyelesaikan makalah ini. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Bapak Dr. Ir. Rinaldi, M.T., selaku dosen pengampu mata kuliah IF4073 Pemrosesan Citra Digital, atas bimbingan, ilmu, dan motivasi yang diberikan selama perkuliahan. Tak lupa, saya mengapresiasi kontribusi para peneliti yang telah menjadi referensi dalam

makalah ini. Semoga hasil dari makalah ini dapat memberikan manfaat dalam bidang teknologi pemrosesan citra.

## REFERENSI

- [1] Wong, B. (2011). Color Blindness. *Nature Methods*, 8(6), 441-442.
- [2] Kim, H. J., Jeong, J. Y., Yoon, Y. J., Kim, Y. H., & Ko, S. J. (2012, January). Color Modification for Color-Blind Viewers Using The Dynamic Color Transformation. In *2012 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)* (pp. 602-603). IEEE. doi: 10.1109/ICCE.2012.6162036.
- [3] Tasnim, A., & Hasan, M. S. (2017, December). An Improved Dynamic Daltonization for Color-Blinds. In *2017 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)* (pp. 798-801). IEEE. doi: 10.1109/R10-HTC.2017.8289076.
- [4] Shen, X., Zhang, X., & Wang, Y. (2020). Color Enhancement Algorithm Based on Daltonization and Image Fusion for Improving The Color Visibility to Color Vision Deficiencies and Normal Trichromats. *Journal of electronic imaging*, 29(5), 053004-053004.

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 15 Januari 2025



Akhmad Setiawan 13521164