

Pewarnaan Ulang Citra Menggunakan
Algoritma *K-means Clustering* untuk Orang
Buta Warna Parsial

Proposal Tugas Akhir

Kelas TA 1 ADW

Angky Fajriati MS Musa
NIM: 1301141221



Program Studi Sarjana Teknik Informatika
Fakultas Informatika
Universitas Telkom
Bandung
2017

Lembar Persetujuan

Pewarnaan Ulang Citra Menggunakan Algoritma *K-means Clustering* untuk Orang Buta Warna Parsial

Image Re-coloring Using K-Means Clustering Algorithm for Partial Color-Blind People

**Angky Fajriati MS Musa
NIM: 1301141221**

Proposal ini diajukan sebagai usulan pembuatan tugas akhir pada
Program Studi Sarjana Teknik Informatika
Fakultas Informatika Universitas Telkom

Bandung, 10 November 2017
Menyetujui

Calon Pembimbing 1

Calon Pembimbing 2

Prof. Dr. Adiwijaya, S.Si., M.Si
NIP: 00740046

Dody Qori Utama, S.T., M.T.
NIP: 14870074

Abstrak

Warna merupakan komponen desain penting yang sering digunakan untuk mengodekan informasi. Karenanya, informasi yang ada pada citra atau gambar bisa saja hilang dilihat oleh penderita buta warna. Buta warna merupakan salah satu anomali mata yang tidak dapat membedakan satu warna dengan warna lainnya. Hal ini menyebabkan, penderita buta warna dapat kehilangan informasi yang terdapat pada citra karena ketidakmampuan dalam membedakan suatu warna dengan warna lainnya. Oleh karena itu, dibangunlah sebuah sistem yang dapat mengurangi kemungkinan penderita buta warna kehilangan informasi yang terdapat pada citra. Sistem ini berupa pewarnaan ulang citra yang didasarkan pada kemampuan penderita buta warna dalam membedakan warna. Penelitian ini memanfaatkan segmentasi berdasarkan warna dalam proses pewarnaan ulang.

Kata Kunci: Pewarnaan ulang citra, buta warna parsial, segmentasi.

Daftar Isi

Abstrak	i
Daftar Isi	ii
I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Rencana Kegiatan	2
1.6 Jadwal Kegiatan	3
II Kajian Pustaka	4
2.1 Penelitian Terkait	4
2.2 Buta Warna	4
2.3 Segmentasi citra	5
2.4 Color Space	5
2.5 K-Means Algorithm	6
III Data dan Metodologi	7
3.1 Data	7
3.2 Desain Sistem	8
3.2.1 Segmentasi Citra	8
3.2.2 Pemetaan Warna	9
3.2.3 Pewarnaan Ulang	12
Daftar Pustaka	13
Lampiran	15

Bab I

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, dikarenakan adanya printer berwarna dan alat-alat *display*, penggunaan warna dalam konten multimedia untuk memberikan informasi-informasi visual yang tinggi telah meningkat drastis[3]. Warna merupakan komponen desain penting yang sering digunakan untuk mengkodekan informasi[5]. Hal ini menjadi sangat penting untuk penggunaan warna terhadap komunikasi visual yang lebih efektif. Jika warna digunakan sebagai sarana untuk menyediakan informasi, maka informasi yang ada pada citra atau gambar bisa saja hilang jika dilihat oleh orang yang buta warna[5]. orang yang dengan keterbatasan penglihatan warna atau buta warna, akan memiliki kesulitan untuk membedakan beberapa warna yang dapat dibedakan oleh orang normal[3]. Citra dengan warna dan bayangan yang hampir sama akan susah dibedakan oleh orang yang buta warna[9].

Buta warna merupakan salah satu anomali mata yang dimana mata tidak dapat membedakan satu warna dengan warna lainnya[10]. Pada umumnya, ada dua jenis buta warna, yaitu buta warna parsial dan buta warna total [11]. Buta warna disebabkan oleh anomali dari *rod cell* dan *cone cell* yang terdapat pada mata. *Rod Cell* digunakan untuk meregulasi intensitas cahaya yang dikeluarkan menuju mata, sedangkan *cone cell* bertanggungjawab untuk membedakan warna. Terdapat 3 *cone cell*, yaitu *red*, *green*, *blue cone cell*[10]. Karenanya, kasus buta warna ditandai oleh anomali dalam menyerap warna merah, hijau, atau biru[7]. Anomali inilah yang dimanfaatkan oleh Dody Qori Utama pada [10] dalam fokus pengetesan buta warna yang dilakukan.

Didalam kehidupan sehari-hari, orang yang buta warna akan menghadapi banyak masalah dalam membedakan warna, seperti membedakan warna dari pohon-pohon, daun-daun, dan lampu lalu lintas [11]. Banyak riset yang telah dilakukan dengan tujuan untuk membantu mengatasi masalah yang dialami orang yang buta warna, seperti pada [5, 3, 9, 7, 11]. Sistem-sistem ini mampu membantu orang yang buta warna dalam membedakan warna, tetapi rata-rata dari penelitian ini terfokus dalam membantu beberapa derajat buta warna.

Pada tugas akhir ini, akan terfokus pada pewarnaan citra untuk buta warna

parsial. Metode yang akan digunakan adalah algoritma *k-means* dalam proses segmentasi warna pada citra dan *brute-force* untuk melakukan pemetaan warna dan pewarnaan ulang. Pemetaan warna dilakukan berdasarkan hasil tes buta warna oleh Dody Qori Utama pada [10] berupa *RGB cluster* dari orang yang buta warna. Diharapkan sistem ini bisa membantu orang yang buta warna dalam membedakan warna pada suatu segmen dengan segmen lainnya.

1.2 Perumusan Masalah

Berikut rumusan masalah yang ingin saya angkat adalah

1. Bagaimana proses pewarnaan citra untuk orang yang buta warna parsial?
2. Bagaimana kinerja dari sistem yang telah dibangun?

1.3 Tujuan

Berikut adalah tujuan yang ingin dicapai pada penulisan proposal/TA.

1. Membangun sebuah sistem yang membantu mewarnai ulang citra berdasarkan perbedaan kemampuan tiap orang yang buta warna parsial dalam membedakan warna.
2. Menganalisis kinerja dari sistem yang telah dibangun.

1.4 Batasan Masalah

1. Data hasil tes buta warna yang akan digunakan berdasarkan penelitian oleh Dody Qori Utama pada [10] dan [11]. Data inilah yang menjadi acuan dalam menentukan warna yang akan dipilih untuk mewarnai ulang citra. Untuk data citra diambil dari Google.
2. Keluaran berupa citra yang telah diwarnai ulang.

1.5 Rencana Kegiatan

Rencana kegiatan yang akan saya lakukan adalah sebagai berikut:

- Studi literatur
Dilakukan pencarian informasi dan mempelajari referensi yang berhubungan dengan *image processing*, *color-blind people*, *image re-coloring for color-blind people*, dan *image segmentation*.
- Pengumpulan Data
Dilakukan pengumpulan data yang berupa hasil tes buta warna dari penelitian yang dilakukan oleh Dody Qori Utama [10] dan citra yang berasal dari Google.

- Analisis dan Perancangan Sistem
Dilakukan perancangan sistem untuk mewarnai ulang citra warna menggunakan segmentasi warna pada citra dan hasil dari tes buta warna [10].
- Implementasi Sistem
Dilakukan analisis hasil implementasi sistem pewarnaan ulang citra menggunakan segmentasi warna pada citra dengan memanfaatkan hasil dari tes buta warna [10].
- Pembuatan Laporan
Dilakukan pembuatan laporan berdasarkan hasil analisis dan implementasi dari sistem yang telah dibuat.

1.6 Jadwal Kegiatan

Berikut merupakan jadwal kegiatan yang direncanakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Tabel 1.1: Jadwal kegiatan

No	Kegiatan	Bulan ke-																							
		1				2				3				4				5				6			
1	Studi Literatur																								
2	Pengumpulan Data																								
3	Analisis dan Perancangan Sistem																								
4	Implementasi Sistem																								
5	Analisa Hasil Implementasi																								
6	Penulisan Laporan																								

Bab II

Kajian Pustaka

2.1 Penelitian Terkait

Beberapa penelitian yang telah membangun sistem ini dengan berbagai metode yang berbeda. Penelitian [3] menggunakan GMM (*Gaussian Mixture Model*) untuk mendapatkan informasi warna pada citra. Penelitian ini kemudian membangun sebuah metode pembobotan warna untuk menentukan warna mana yang penting penderita buta warna. Pembobotan ini bermanfaat untuk mengoptimalkan proses pewarnaan ulang. Lalu, penelitian oleh [7] menggunakan simulasi Fuzzy dengan memanfaatkan hasil isihara tes oleh alat DaltonTest yang memberikan diagnosis dari penderita buta warna yang berupa derajat dari buta warna, derajat *protanomaly*, dan derajat *deuteronomaly*. Hasil inilah yang digunakan sebagai fungsi keanggotaan pada Fuzzy[7].

Selanjutnya adalah [11] menggunakan optimasi dari mapping warna dengan memanfaatkan hasil dari penelitian tes buta warna pada [10] yang berupa kluster warna dari RGB. Kelebihan dari sistem yang dibuat pada penelitian [11] adalah dapat diterapkan untuk semua buta warna parsial dibandingkan dengan metode lain yang hanya bisa diterapkan ke beberapa derajat buta warna. Namun, kekurangan dari metode ini adalah algoritma optimasi pemetaan yang diterapkan menggunakan banyak sumber daya dan memunyai waktu komputasi yang panjang [11].

2.2 Buta Warna

Buta warna adalah anomali yang terjadi pada mata dimana mata tidak dapat membedakan satu warna dengan warna lainnya. Buta warna dapat disebabkan oleh sebuah kerusakan pada otak atau dari faktor genetik yang diturunkan. Penderita buta warna diperkirakan mencakup 5-8% dari populasi dunia yang mana 0.4% merupakan wanita, sedangkan sisanya adalah pria. Buta warna disebabkan oleh anomali pada *rod cells* dan *cone cells* yang berada pada mata. *Rod cells* digunakan untuk meregulasi intensitas cahaya yang diterima oleh mata, sedangkan *cone cell* adalah bagian dari mata yang bertanggungjawab untuk membedakan warna. Ada 3 tipe dari *cone cell*: *Red cone cell*, *Green cone cell*, dan *Blue cone cell*. Buta warna merupakan salah

satu disabilitas yang tidak bisa disembuhkan atau diubah [10].

2.3 Segmentasi citra

Segmentasi citra adalah proses klasifikasi sebuah citra ke dalam beberapa kelompok. Metode ini merupakan salah satu metode yang paling sering digunakan untuk mengklasifikasikan *pixel* dari sebuah citra dengan benar ke dalam sebuah pengaplikasian [2]. Citra tersebut dapat berupa citra greyscale atau warna. Proses segmentasi antara citra greyscale dengan warna berbeda.

Dalam istilah yang luas, metodologi dalam segmentasi citra terbagi atas 7 [1], yaitu:

1. *Histogram Thresholding*
2. *Clustering* (Kasar dan Halus)
3. *Region growing, region splitting* dan *merging*
4. *Edge-based*
5. *Physical Model based*
6. *Fuzzy approaches*
7. *Neural Network* dan GA (*Genetic Algorithm*)

2.4 Color Space

Color Space adalah kumpulan warna khusus yang dikombinasikan dengan profil perangkat fisik, memungkinkan kita untuk merepresentasikan warna yang dapat direproduksi dalam representasi digital dan analog. Ini merupakan alat untuk dalam memahami kapabilitas dari sebuah perangkat atau data digital. Ketika kita mencoba untuk mereproduksi warna pada perangkat lain, maka *color space* inilah yang dapat menunjukkan kepada kita apakah kita dapat menyimpan bayangan atau menyoroti detail, saturasi warna dan seberapa banyak yang dapat dikompromikan [1].

Berikut adalah beberapa jenis dari *color space*:

1. *RGB color space* didefinisikan sebagai sebuah warna yang terdiri dari persentase merah, hijau, dan biru yang digabungkan menjadi satu.
2. $L^*A^*B^*$ Pada *color space* ini, terdiri dari satu *channel* untuk *Lightness* dan dua *channel* lagi untuk layer berwarna. Layer a^* mengindikasikan dimana warna tersebut pada sumbu merah-hijau, sedangkan layer b^* mengindikasikan dimana warna tersebut pada sumbu biru-kuning. Nilai

negatif pada a^* mengindikasikan hijau, sedangkan positif untuk merah. Nilai negatif pada b^* mengindikasikan biru, sedangkan positif untuk kuning.

2.5 K-Means Algorithm

K-means merupakan salah satu algoritma dalam mengelompokkan data yang telah digunakan sejak tahun 1955. K-means adalah salah satu algoritma yang sederhana dan juga paling sering digunakan. Kemudahan dalam penerapan, kesederhanaan, efisiensi, dan kesuksesan empiris menjadikan k-means masih digunakan sampai sekarang. Contoh data-data yang mampu diolah oleh k-means adalah teks, gambar dan video [4].

Metode ini biasanya digunakan untuk mempartisi sebuah data set secara otomatis kedalam sebuah grup k [12]. Proses utama dari k-means adalah sebagai berikut:

1. Pilih titik-titik K yang merepresentasikan objek yang harus dikelompokkan (berdasarkan kluster K . Titik-titik ini merepresentasikan titik tengah/*centroid* grup awal Z_k
2. Masukkan setiap objek ke dalam grup yang mempunyai titik tengah/*centroid* terdekat dengan objek tersebut. Digunakan *Euclidean Distance* untuk menghitung jarak objek dengan titik tengah/*centroid*.

$$x \in C_i, \quad \text{jika } \text{dist}(x, Z_i) \leq \text{dist}(x, Z_j), \\ \text{untuk } j = 1, 2, \dots, K (i \neq j)$$

Dimana C_i adalah kluster ke- i dengan titik tengah Z_i

3. Ketika semua objek telah dikelompokkan, hitung kembali titik tengah/*centroid* dari kluster Z_k untuk semua kluster C_k menggunakan rumus berikut:

$$Z_k = \frac{1}{|C_k|} \sum_{s \in C_k} X_s, \quad k = 1, \dots, K$$

Dimana s adalah anggota dari C_k , X_s adalah vektor atribut dari s dan $|C_k|$ adalah jumlah member pada C_k

4. Ulangi step 2 dan 3 sampai titik tengah/*centroid* tidak berubah. [8]

Bab III

Data dan Metodologi

3.1 Data

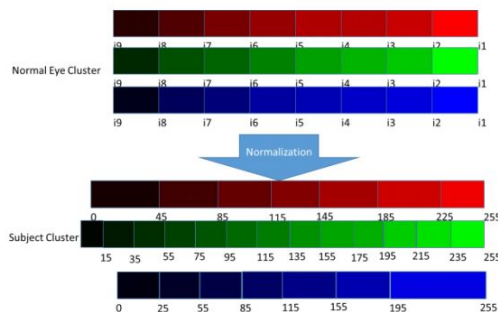
Data yang digunakan pada tugas akhir ini terdiri dari 2 jenis data, yaitu:

1. Data yang digunakan berupa citra asli yang belum diproses.



Gambar 3.1: Contoh Citra Asli [6]

2. Data hasil dari tes buta warna oleh Dody Qori Utama yang berupa *RGB cluster*.



Gambar 3.2: *RGB Cluster* dari Hasil Tes Buta Warna [11]

3.2 Desain Sistem

Berikut adalah desain sistem yang diajukan untuk pewarnaan ulang citra menggunakan segmentasi berdasarkan warna untuk buta warna parsial.



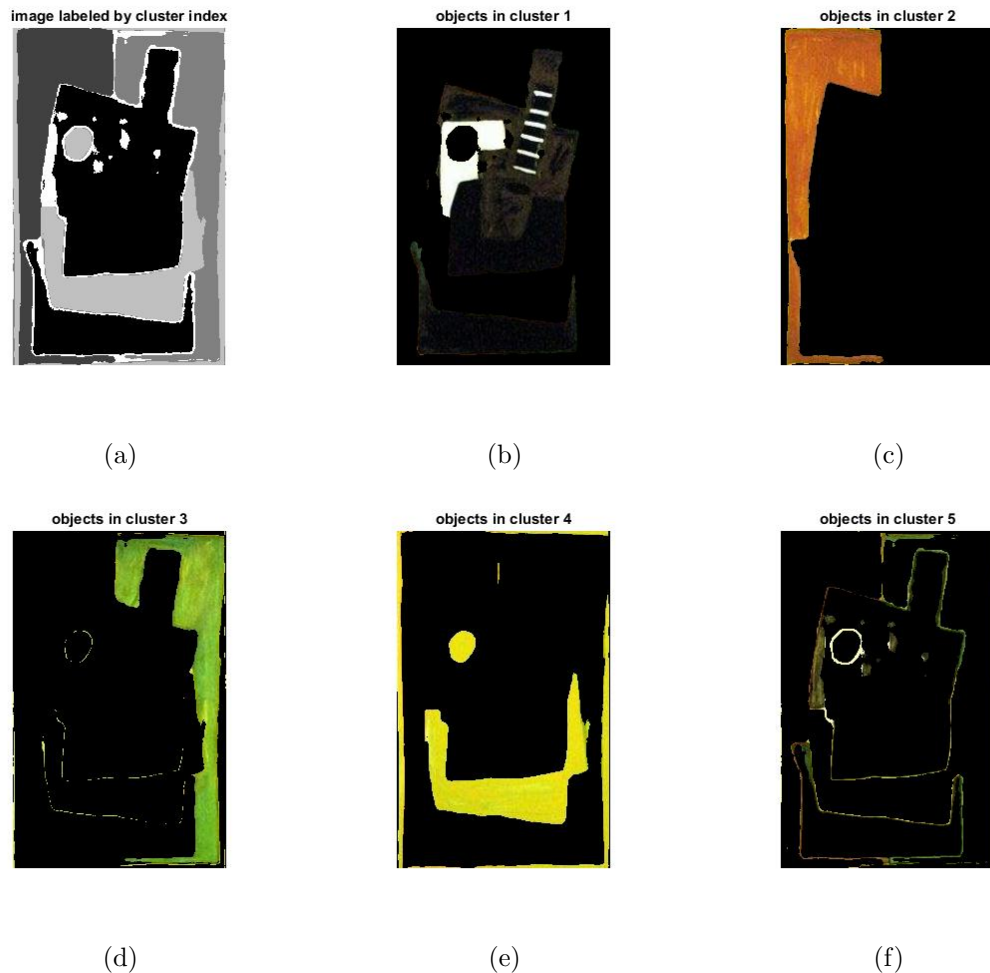
Gambar 3.3: Diagram Alur dari Desain Sistem

3.2.1 Segmentasi Citra

Tahap ini merupakan salah satu tahapan yang penting. Pada tahap ini, dilakukan segmentasi citra berdasarkan warna menggunakan *Clustering*. *Clustering* telah terbukti sebagai metode yang sangat efisien untuk segmentasi citra [1]. Adapun algoritma *Clustering* yang digunakan adalah *K-means*.

Ditentukan nilai k berada pada [3,7]. *K-centroid* awal ditentukan secara

acak. Dengan *K-means* didapatkan segmentasi berdasarkan warna dan titik tengah/*centroid* akhir tiap kluster K . Titik tengah/*centroid* ini akan digunakan untuk dijadikan perwakilan warna tiap kluster pada proses berikutnya.



Gambar 3.4: (a) Visualisasi segmen pada citra sesuai label kluster; (b) - (f) Hasil segmentasi citra asli dengan menggunakan nilai $K = 5$

3.2.2 Pemetaan Warna

Input dari tahapan ini adalah perwakilan warna tiap kluster citra. Warna ini berjumlah sama dengan nilai K pada proses segmentasi. Lalu, dilakukan perbandingan antara dua warna dengan menghitung jarak antara kedua warna tersebut. Perhitungan ini digunakan untuk mencari nilai jarak antar dua warna yang disimbolkan sebagai $D(W1, W2)$. Jika $D(W1, W2) > 100\%$, maka tidak dilakukan perubahan pada salah satu dari dua warna tersebut. Namun, jika $D(W1, W2) < 100\%$, maka dilakukan perubahan pada salah satu warna dengan

menaikkan nilai intensitas dari *R* (*Red*), *G* (*Green*), dan *B* (*Blue*). Hal ini dilakukan karena penderita buta warna kurang mampu membedakan warna dengan $D(W1, W2)$ antara 50-100% dan tidak mampu membedakan warna dengan $D(W1, W2) < 50\%$ [10].

Perubahan pada nilai intensitas akan memengaruhi perhitungan jarak antara kedua warna yang lain. Pendekatan dengan *brute-force* digunakan untuk memastikan jarak antara setiap warna pada K kluster $> 100\%$. Cara yang dilakukan adalah dengan menghitung dua warna pada setiap K kluster. Jika terdapat perubahan nilai intensitas pada $W1$ karena $D(W1, W2) < 100\%$, maka proses selanjutnya adalah menghitung $D(W1, W3)$. Jika $D(W1, W3) > 100\%$, maka proses selanjutnya adalah menghitung $D(W1, W4)$. Proses tersebut dilakukan sampai jarak antara warna pada setiap K kluster $> 100\%$.

Adapun rumus untuk menghitung jarak warna, yang didasarkan penelitian oleh Dody Qori Utama adalah sebagai berikut:

$$D(W1, W2) = Dr(R1, R2) + Dg(G1, G2) + Db(B1, B2)$$

Keterangan:

- $D(W1, W2)$ merupakan jarak warna $W1$ dengan $W2$
- $Dr(R1, R2)$ merupakan jarak merah $R1$ dengan $R2$
- $Dg(G1, G2)$ merupakan jarak hijau $G1$ dengan $G2$
- $Db(B1, B2)$ merupakan jarak biru $B1$ dengan $B2$

Untuk mencari nilai dari masing-masing jarak merah, hijau, dan biru, digunakan rumus berikut:

$$Dr(R1, R2) = ((\frac{i(im1) - i(bbm_i)}{i(bam_i) - i(bbm_i)} * 100\%) + (\frac{i(bam_{i+x}) - i(im2)}{i(bam_{i+x}) - i(bbm_{i+x})} * 100\%) + ((x-1) * 100\%))$$

$$Dg(G1, G2) = ((\frac{i(ih1) - i(bbh_j)}{i(bah_j) - i(bbh_j)} * 100\%) + (\frac{i(bah_j + y) - i(ih2)}{i(bah_{j+y}) - i(bbh_{j+y})} * 100\%) + ((y-1) * 100\%))$$

$$Db(B1, B2) = ((\frac{i(ib1) - i(bbb_k)}{i(bab_k) - i(bbb_k)} * 100\%) + (\frac{i(bab_{k+z}) - i(ib2)}{i(bab_{k+z}) - i(bbb_{k+z})} * 100\%) + ((z-1) * 100\%))$$

Keterangan:

- im, ih, ib merupakan nilai intensitas merah, hijau, dan biru pada warna.
- bbm_i, bbh_j, bbb_k merupakan nilai batas bawah merah, hijau, dan biru pada kluster dari warna.
- bam_i, bah_j, bab_k merupakan nilai batas merah, hijau, dan biru pada kluster dari warna.



Gambar 3.5: Ilustrasi Proses Pemetaan Warna

Gambar 3.5 merupakan proses pemetaan warna. Pada proses ini, akan dihasilkan perubahan data pada K kelompok warna. Terdapat 3 kluster warna pada gambar tersebut. Dengan memasukkan nilai-nilai RGB pada K1, K2, dan K3 sebelum transformasi, didapatkan hasil berikut:

- Jarak antara K1 dan K2 adalah 20%
- Jarak antara K1 dan K3 adalah 10%
- Jarak antara K2 dan K3 adalah 10%

Lalu dilakukan perubahan pada tiap-tiap kluster warna. Perubahan ini berupa peningkatan atau penurunan nilai intensitas R , G , dan B . Setelah proses transformasi pada gambar di atas, nilai-nilai RGB pada K1, K2, K3 dapat dimodifikasi. Data transformasi inilah yang akan digunakan dalam proses selanjutnya. Adapun datanya adalah sebagai berikut:

- Untuk K1, tidak dilakukan perubahan apapun
- Untuk K2, dilakukan peningkatan terhadap nilai intensitas R sebanyak 100. Dengan perubahan ini, didapatkan $D(K1, K2)=100\%$.
- Untuk K3, dilakukan penurunan terhadap nilai intensitas R sebanyak 100. Dengan perubahan ini, didapatkan $D(K2, K3)=200\%$ dan $D(K1, K3)=100\%$.

3.2.3 Pewarnaan Ulang

Setelah mendapat data transformasi K kelompok warna dari proses sebelumnya, maka dilakukan proses pewarnaan ulang. Setiap *pixel* pada proses segmentasi sebelumnya, telah mendapat label dari indeks klusternya. Selanjutnya, dilakukan pencocokan antara label kluster yang ada pada tiap pixel dengan perubahan data oleh W_i .

Contohnya adalah jika terdapat data transformasi pada W_2 dengan peningkatan nilai intensitas R sebanyak 100, maka semua pixel dengan label kluster 1 akan ditingkatkan nilai intensitas R sebanyak 100. Proses ini akan berulang sampai dengan W_k . Adapun keluaran yang dihasilkan adalah citra yang telah melalui proses pewarnaan ulang. Citra ini diharapkan dapat memvisualisasikan warna yang dilihat berbeda antar segmen oleh penderita buta warna.



Gambar 3.6: Contoh citra yang telah diwarnai ulang [6].

Daftar Pustaka

- [1] BORA, D. J., GUPTA, A. K., AND KHAN, F. A. Comparing the performance of $l^* a^* b^*$ and hsv color spaces with respect to color image segmentation. *arXiv preprint arXiv:1506.01472* (2015).
- [2] DHANACHANDRA, N., MANGLEM, K., AND CHANU, Y. J. Image segmentation using k-means clustering algorithm and subtractive clustering algorithm. *Procedia Computer Science* 54 (2015), 764–771.
- [3] HUANG, J.-B., CHEN, C.-S., JEN, T.-C., AND WANG, S.-J. Image recolorization for the colorblind. In *Acoustics, Speech and Signal Processing, 2009. ICASSP 2009. IEEE International Conference on* (2009), IEEE, pp. 1161–1164.
- [4] JAIN, A. K. Data clustering: 50 years beyond k-means. *Pattern recognition letters* 31, 8 (2010), 651–666.
- [5] JEFFERSON, L., AND HARVEY, R. Accommodating color blind computer users. In *Proceedings of the 8th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility* (2006), ACM, pp. 40–47.
- [6] KUHN, G. *Image recoloring for color-vision deficient*. PhD thesis, Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.
- [7] LEE, J., AND DOS SANTOS, W. P. Fuzzy-based simulation of real color blindness. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE* (2010), IEEE, pp. 6607–6610.
- [8] PHAM, V. H., AND LEE, B. R. An image segmentation approach for fruit defect detection using k-means clustering and graph-based algorithm. *Vietnam Journal of Computer Science* 2, 1 (2015), 25–33.
- [9] PORET, S., DONY, R., AND GREGORI, S. Image processing for colour blindness correction. In *Science and Technology for Humanity (TIC-STH), 2009 IEEE Toronto International Conference* (2009), IEEE, pp. 539–544.

- [10] UTAMA, D. Q., MENGKO, T. L. R., MENGKO, R., AND AULIA, M. N. Color blind test quantification using rgb primary color cluster. In *Information Technology Systems and Innovation (ICITSI), 2016 International Conference on* (2016), IEEE, pp. 1–4.
- [11] UTAMA, D. Q., MENGKO, T. L. R., MENGKO, R., GANDASUBRATA, A. P., AND AZHAR, T. N. Rgb color cluster re-coloring algorithm for partial color-blind people. BME.
- [12] WAGSTAFF, K., CARDIE, C., ROGERS, S., SCHRÖDL, S., ET AL. Constrained k-means clustering with background knowledge. In *ICML* (2001), vol. 1, pp. 577–584.

Lampiran