

PENENTUAN TINGKAT BUTA WARNA DENGAN METODE SEGMENTASI RUANG WARNA FUZZY DAN RULE-BASED FORWARD CHAINING PADA CITRA ISHIHARA

Nur Hamid dan Kusworo Adi

Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

Email: nurhamid11@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

Color blindness is a condition in which a person can not distinguish certain wave light that can be distinguished by the normal eyes. Tests are currently being used (Ishihara Test and the Farnsworth Munsell) are simple. But, both of them have weakness in the form of test media used and requires appropriate room.

In this study, applies image processing to the development of color blindness level determination. Image processing is done by segmenting the pattern first with fuzzy color space segmentation. Having obtained the pattern of Ishihara image is used, then recombined with the initial image, so that the image obtained Ishihara with a segmented pattern. If the patient is able to see the pattern which is purposed, then continued to another image. However, if the patient can not see the pattern, then the pattern will be increased intensity of red, green and blue. By using a rule-based forward chaining, the determination of color blindness level is determined by the rules of the increase in the intensity of red, green and blue.

The research data is algorithm testing data which is created toward patients. Successful testing is done with total validation (normal patients and color deficiency) 97.8% and validation for diagnosed patients testing contained 85.7% of color deficiency. In the proposed algorithm is also used for the determination of the boundary wavelength capable of being viewed by people with color blindness.

Keywords: *color blindness level, color segmentation, enhancements of color intensity*

ABSTRAK

Buta warna adalah keadaan dimana seseorang tidak dapat membedakan gelombang cahaya tertentu yang dapat dibedakan oleh mata normal. Tes yang saat ini digunakan (Tes Ishihara dan Farnsworth Munsell) sederhana akan tetapi, kedua tes ini mempunyai kelemahan yaitu berupa media tes yang digunakan serta membutuhkan ruangan yang sesuai.

Pada penelitian ini mengaplikasikan pengolahan citra untuk pengembangan penentuan tingkat buta warna. Pengolahan citra dilakukan dengan mensegmentasi pola terlebih dahulu dengan segmentasi ruang warna fuzzy. Setelah diperoleh pola dari citra Ishihara yang digunakan, maka digabungkan kembali dengan citra awal, sehingga diperoleh citra Ishihara dengan pola yang tersegmentasi. Jika pasien mampu melihat pola yang dimaksud, maka dilanjutkan citra yang lain. Akan tetapi jika pasien tidak dapat melihat pola, maka pola akan ditingkatkan intensitas warna merah, hijau dan biru. Dengan menggunakan rule-based forward chaining, penentuan tingkat buta warna ditentukan berdasarkan aturan peningkatan intensitas warna merah, hijau dan biru.

Data penelitian adalah data pengujian algoritma yang dibuat terhadap pasien. Pengujian berhasil dilakukan dengan validasi total (pasien normal dan defisiensi warna) 97,8 % dan validasi untuk pengujian pasien yang didiagnostik terdapat defisiensi warna 85,7 %. Pada algoritma yang dibuat digunakan pula untuk penentuan panjang gelombang batas yang mampu dilihat oleh penderita buta warna.

Kata kunci: *Tingkat buta warna, segmentasi warna, peningakatan intensitas warna*

PENDAHULUAN

Buta warna adalah kondisi seseorang yang tidak dapat membedakan panjang gelombang cahaya tertentu yang dapat dibedakan oleh mata normal. Hal ini disebabkan oleh perubahan kepekaan fotoreseptor sel kerucut yang ada di retina mata. Buta warna banyak disebabkan oleh turunan gen orang tua maupun mengkonsumsi obat bahan kimia yang berlebihan. Data menunjukkan 8

% laki-laki dan 0,4 % perempuan menderita buta warna[1].

Tes Ishihara dan tes Farnsworth Munsell menjadi metode penentuan buta warna yang paling banyak digunakan. Kedua tes ini sederhana akan tetapi, kedua tes ini mempunyai kelemahan yaitu berupa media tes yang digunakan. Media yang digunakan adalah lembaran kertas Ishihara dan koin-koin warna Farnsworth Munsell. Media tes ini sendiri hanya dapat dilakukan pada ruangan

bercahaya putih dengan intensitas penerangan yang cukup [1]. Selain itu, karena menggunakan media kertas dan koin warna, pengujian secara manual berpotensi menyebabkan pemudaran warna pada media pengujian untuk jangka waktu tertentu. juga berpotensi hilang dan tercecer [2].

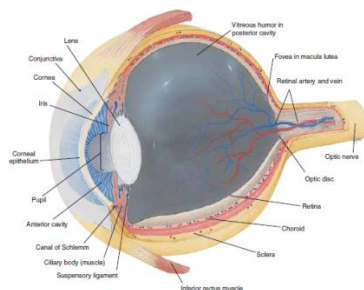
Pada penelitian ini menggunakan pemrograman pengolah citra digital untuk menentukan jenis buta warna dengan perintah segmentasi warna yang ada di pemrograman pengolah citra akan mampu memisahkan pola yang membentuk objek pada citra isihara dengan objek yang bertindak sebagai latar. Hal ini dilakukan untuk menghasilkan pengujian buta warna secara kuantitatif serta tidak lagi membutuhkan media buku, koin warna maupun ruangan khusus. Selain itu media juga dapat tersimpan secara komputer, sehingga lebih aman dan efisien.

Tujuan dari Penelitian ini adalah penentuan tingkat buta warna dengan menggunakan metode segmentasi ruang warna *fuzzy* dan *rule-based forward chaining* pada citra isihara. Dari hasil penelitian ini diharapkan mendapat tingkat buta warna seseorang secara kuantitatif.

DASAR TEORI

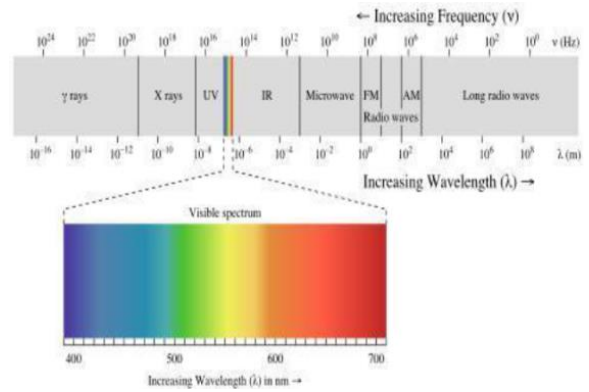
Anatomi Mata

Mata merupakan indra penglihatan manusia. Mata terdiri atas reseptor untuk penglihatan dan sistem pembiasan yang memfokuskan cahaya sampai reseptor di retina [3]



Gambar 1 Anatomi mata bagian dalam [3]

Cahaya tampak dapat dilihat oleh mata karena panjang gelombangnya mampu diterima oleh fotoreseptor di mata. Panjang gelombang cahaya berada pada kisaran antara 0,2 μm sampai dengan 0,5 μm , yang bersesuaian dengan frekuensi antara 6×10^{15} Hz hingga 20×10^{15} Hz [4].



Gambar 2 Rentang spektrum gelombang elektromagnetik [5]

Spektrum gelombang elektromagnetik menunjukkan hanya bagian yang sangat kecil yang dapat ditangkap oleh indera penglihatan yaitu cahaya tampak (*visible light*) [6].

Tingkat Buta Warna

1. Monokromasi

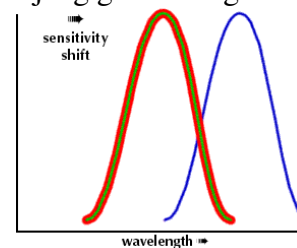
Monokromasi dialami seseorang yang hanya memiliki satu sel pigmen sel kerucut atau tidak berfungsinya semua sel kerucut tersebut [1]:

- Monokromasi batang disebabkan oleh tidak berfungsinya semua sel kerucut retina.
- Monokromasi kerucut disebabkan oleh tidak berfungsinya dua sel kerucut.

2. Dikromasi

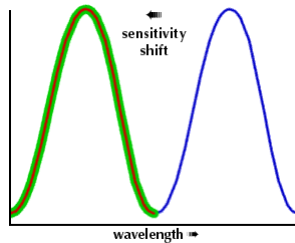
Dikromasi dialami seseorang yang salah satu dari tiga sel kerucut tidak ada atau tidak berfungsi. Akibatnya dari disfungsi salah satu sel pigmen pada sel kerucut, seseorang penderita akan mengalami gangguan membedakan panjang gelombang dari cahaya pembentuk warna-warna tertentu. Pembagian dikromasi adalah sebagai berikut [1]:

- Protanopia* merupakan jenis dikromasi yang disebabkan oleh tidak adanya fotoreseptor retina merah sehingga penderita *protanopia* kesulitan membedakan cahaya yang datang dengan panjang gelombang 560 nm – 670 nm.



Gambar 3 Perubahan sensitivitas panjang gelombang warna merah [1]

b. *Deutanopia* merupakan jenis dikromasi yang disebabkan tidak adanya fotoreseptor retina hijau . Hal ini menimbulkan kesulitan dalam membedakan *hue* pada warna merah dan hijau (*red-green hue discrimination*) atau warna di sekitar panjang gelombang 530 nm.



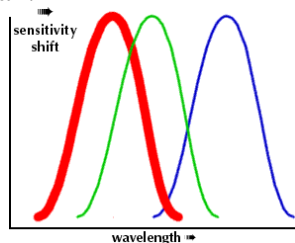
Gambar 4 Perubahan sensitivitas panjang gelombang warna hijau [1].

c. *Tritanopia* merupakan jenis dikromasi yang disebabkan tidak adanya *short-wavelength cone*. Seseorang yang menderita *tritanopia* akan kesulitan dalam membedakan warna biru dan kuning dengan panjang gelombang 420 nm – 500 nm dari spektrum cahaya tampak.

3 Anomalous trichromacy

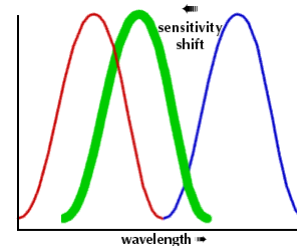
Penderita *anomalous trichromacy* memiliki tiga sel *cones* yang lengkap, namun terjadi kerusakan mekanisme sensitivitas terhadap salah satu dari tiga sel reseptor warna tersebut. Pembagian *anomalous trichromacy* adalah sebagai berikut [1]:

a. *Protanomaly* merupakan jenis *anomalous trichromacy* dimana terjadi kelainan terhadap *long-wavelength (red) pigment*, sehingga menyebabkan rendahnya sensitivitas terhadap cahaya merah.



Gambar 5 Pergeseran panjang gelombang warna merah [1]

b. *Deutanomaly* merupakan jenis *anomalous trichromacy* yang disebabkan oleh kelainan pada bentuk pigmen *middle-wavelength (green)*.

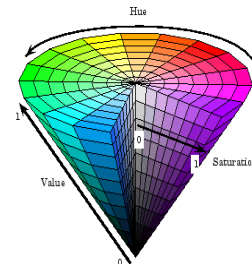


Gambar 6 Pergeseran panjang gelombang warna hijau [1]

c. *Tritanomaly* merupakan jenis *anomalous trichromacy* yang disebabkan oleh kelainan pada *shortwavelength pigment (blue)*. Pigmen biru ini bergeser ke area hijau dari spektrum warna.

Ruang Warna HSV

HSV merupakan contoh ruang warna yang merepresentasikan warna seperti yang dilihat oleh mata manusia. H merupakan komponen “*hue*”, S komponen “*saturation*”, dan V komponen “*value*” [7].



Gambar 7 Ruang warna HSV [7]

Untuk mendapatkan nilai H, S, V berdasarkan R, G, dan B, terdapat beberapa cara. Rumus-rumus yang digunakan sebagai berikut [7]:

$$r = \frac{R}{(R+G+B)}, g = \frac{G}{(R+G+B)}, b = \frac{B}{(R+G+B)}$$

$$(2.4) \quad V = \max(r, g, b)$$

$$(2.5) \quad S = \begin{cases} 0, & \text{jika } V = 0 \\ 1 - \frac{\min(r,g,b)}{V}, & V > 0 \end{cases}$$

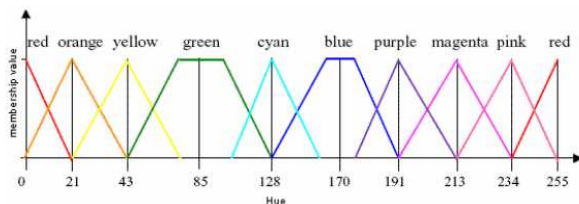
$$(2.6) \quad H = \begin{cases} 0, & \text{jika } S = 0 \\ \frac{60 \cdot (g-b)}{S+V}, & \text{jika } V = r \\ 60 \cdot \left[2 + \frac{b-r}{S+V} \right], & \text{jika } V = g \\ 60 \cdot \left[4 + \frac{r-g}{S+V} \right], & \text{jika } V = b \end{cases}$$

$$(2.7) \quad H = H + 360 \text{ jika } H < 0$$

$$(2.8)$$

Segmentasi Ruang Warna Fuzzy

Segmentasi citra adalah proses untuk mempartisi citra ke dalam beberapa daerah atau membagi citra berdasarkan sifat yang dijadikan pembeda. Segmentasi warna dapat dilakukan pada ruang warna HSV [8].



Gambar 8 Dimensi H [9]

Tujuan dari segmentasi adalah agar dapat merepresentasikan warna yang digunakan untuk membedakan daerah yang berdekatan pada citra. Pengelompokan warna yang baik penting dalam segmentasi citra. Setelah mengelompokkan, warna diberi label. Sebuah warna diset pada pengelompokan piksel citra yang sama. Piksel citra digantikan lebel pengelompokan kelas [10].

Metode Rule-Based

Pengetahuan disajikan dalam bentuk fakta dan aturan (*rule*). Bentuk penyajian ini terdiri dari premis dan kesimpulan. Penyajian *rule-based*

memiliki pola kondisi atau premis *if*, tindakan atau kesimpulan *then* (Sasmito dkk., 2011).

If <conditions>, then <actions>

Untuk kondisi tertentu jika premis lebih dari satu maka dapat dihubungkan dengan operator *and* atau *or*. Sementara untuk kesimpulan yang memiliki beberapa kalimat dapat dihubungkan dengan *and*, atau memungkinkan untuk digunakan *else* (kesimpulan yang lain) [11].

Metode Forward Chaining

Forward chaining merupakan metode penentuan/ pencarian kesimpulan yang didasarkan pada fakta yang ada menuju kesimpulan. Fakta bergerak maju untuk diperoleh 1 kesimpulan [12].

Validasi

Validasi merupakan proses pengujian tingkat akurasi data keluaran dari model yang dirancang dibandingkan dengan data lain yang lebih valid [13]. Validasi dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\text{Validasi (\%)} = \frac{X}{Y} \times 100 \%$$

X = jumlah data keluaran dari model yang sesuai
Y = jumlah data target

METODE PENELITIAN

Pada tahap pembuatan program menggunakan pemrograman Pengolahan Citra Digital. *Fuzzy* digunakan untuk mengenali komponen warna berdasarkan nilai *hue* tiap warna.

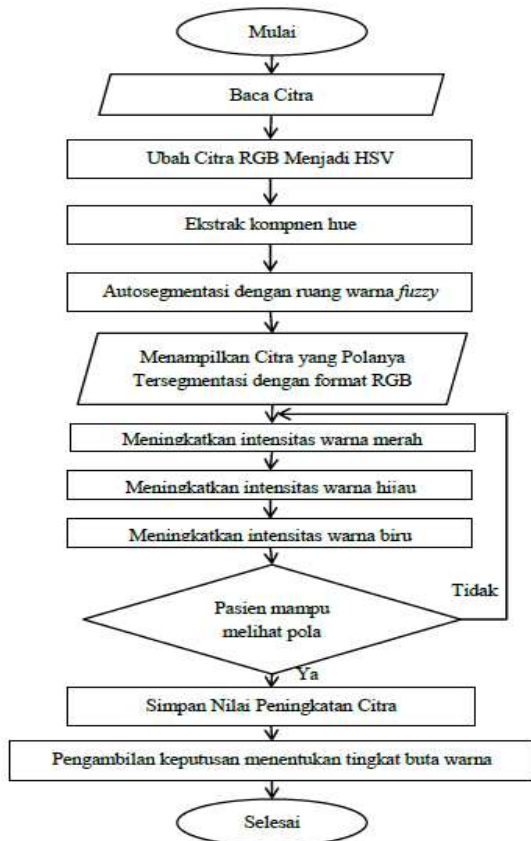
Penentuan tingkat buta warna dilakukan dengan metode *rule-based forward chaining*. Metode ini didasarkan pada aturan yang dibuat berdasarkan fakta-fakta (nilai peningkatan intensitas warna merah, hijau dan biru) untuk menarik kesimpulan (tingkat buta warna).



Gambar 9 Alur penentuan keputusan dengan metode *forward chaining*

Variabel segmentasi citra adalah nilai hue pola citra dan nilai hue citra latar. Sementara untuk variabel penentuan tingkat buta warna adalah peningkatan intensitas warna merah, warna hijau dan warna biru.

Pengambilan data penelitian dilakukan di Poliklinik Mata, Rumah Sakit Umum Pusat dr. Karyadi, Semarang sejak tanggal 3 – 31 Desember 2014. Data Penelitian adalah data pengujian program penentuan buta warna dengan pemrograman pengolahan citra. Data yang diperoleh divalidasi dengan metode yang digunakan di rumah sakit yaitu buku Ishihara (38 plate) yang ditegakkan oleh dokter ruangan.



Gambar 10 Diagram alur pengolahan citra untuk penentuan tingkat buta warna

HASIL DAN PEMBAHASAN Proses Fisis Pengamatan Warna oleh Penderita Buta Warna

Pada penderita buta warna, fotoreseptor sel kerucut mengalami gangguan atau mengalami penurunan kepekaan penerimaan rangsang cahaya, sehingga tidak dapat membedakan panjang gelombang tertentu. Pada pengolahan citra digital penelitian ini digunakan untuk penentuan tingkat buta warna berdasarkan analisis dari sel kerucut

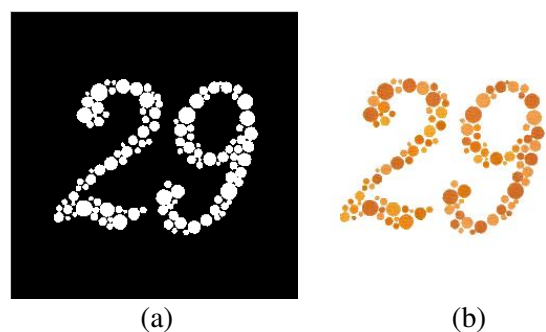
penerima warna merah, hijau dan biru. Analisis tersebut dilakukan dengan pengujian peningkatan intensitas pola dari citra Ishihara ke warna merah, hijau dan biru. Mengubah nilai intensitas warna sama dengan mengubah nilai panjang gelombang cahaya yang akan diterima oleh fotoreseptor sel kerucut di retina mata. Nilai peningkatan intensitas warna tersebut dapat digunakan untuk menentukan titik normal penglihatan seorang penderita buta warna.

Segmentasi Citra Ishihara

Pengolahan citra yang dilakukan mengubah citra dengan ruang warna RGB (*red green blue*) menjadi HSV (*hue saturation value*).

Segmentasi dilakukan dengan ruang warna *fuzzy*, artinya dilakukan berdasarkan fungsi keanggotaan kelompok-kelompok warna pada *hue* citra Ishihara. Akan tetapi pengelompokan batas warna dilakukan berdasarkan nilai-nilai *hue* pada citra Ishihara dengan ruang warna HSV. Agar bisa mensegmentasi pola semua citra Ishihara yang digunakan untuk pengujian digunakan nilai batas *hue* 0, 31 dan 244.

Kemudian setelah diperoleh hasil segmentasi untuk masing-masing batas warna, selanjutnya dipilih hasil segmentasi yang dominan (luas paling besar). Segmentasi dominan dihilangkan, sehingga hanya diperoleh pola citra Ishihara. Kemudian pola citra Ishihara yang tersegmentasi dikembalikan lagi ke ruang warna RGB.

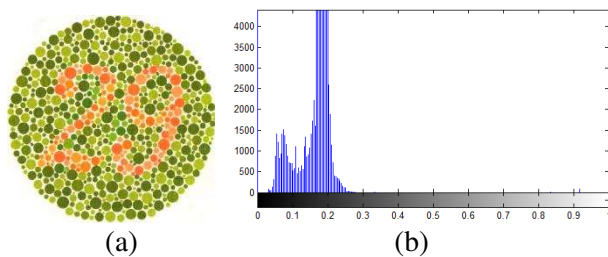


Gambar 11. Segmentasi pola citra ishihara (a) citra biner (b) citra RGB

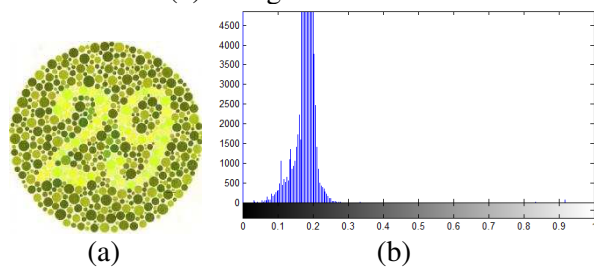
Peningkatan Intensitas Warna Merah, Hijau dan Biru

Peningkatan warna bertujuan untuk mengubah atau meningkatkan intensitas warna yang ada pada pola citra Ishihara. Jika pasien sudah bisa melihat pola yang ada di citra Ishihara, maka tidak perlu lagi untuk ditingkatkan. Bagi pasien yang tidak bisa melihat pola citra Ishihara maka di tingkatkan intensitas warna. Peningkatan warna yang dilakukan adalah peningkatan intensitas pola citra ke arah warna merah, hijau dan biru sesuai jenis dengan sel kerucut penerima warna.

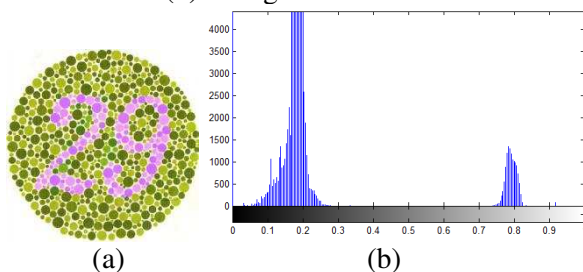
Proses peningkatan warna yaitu antara komponen warna awal ditambahkan dengan nilai slider yang ada pada pemrograman pengolahan citra. Proses ini sampai pasien dapat melihat pola pada citra Ishihara.



Gambar 12 Hasil pengolahan citra (a) peningkatan intensitas warna merah 153 (b) histogram hue citra



Gambar 13 Hasil pengolahan citra (a) peningkatan intensitas warna hijau 255 (b) histogram hue citra



Gambar 14 Hasil pengolahan citra (a) Ppeningkatan intensitas warna biru 255 (b) histogram hue citra

Penentuan Tingkat Buta Warna

Penentuan tingkat buta warna didasarkan pada peningkatan intensitas warna merah, hijau dan biru.

Pengambilan keputusan dilakukan dengan *ruler-based forward chaining* yaitu penentuan kesimpulan (tingkat buta warna) berdasarkan fakta-fakta yang ada (nilai peningkatan intensitas warna merah, hijau dan biru).

Tabel 1 Kode peningkatan intensitas warna [14] [9]

Peningkatan Intensitas wama merah		Peningkatan Irntensitas wama hijau		Peningkatan Irntensitas wama biru	
Batas	Kode	Batas	Kode	Batas	Kode
0-22	A1	0-63	B1	0-42	C1
0-92,7	A2	0-92,7	B2	0-92,7	C2
0-233	A3	0-192	B3	0-213	C3
233-255	A4	192-255	B4	213-255	C4

Tabel 2 Kode penentuan tingkat buta warna [1].

No	Tingkat buta warna	Kode
1	Rod Monochromacy	1
2	Cone Monochromacy (merah)	2
3	Cone Monochromacy (hijau)	3
4	Cone Monochromacy (biru)	4
5	Protanopia (merah-hijau)	5
6	Deuteranopia	6
7	Tritanopia (biru-kuning)	7
8	Protanomaly	8
9	Deuteranomaly	9
10	Tritanomaly	10
11	Normal	11

Dari variabel fakta (peningkatan intensitas warna) dan keputusan (tingkat buta warna) yang telah dibuat dalam kode, selanjutnya disusun menjadi beberapa aturan.

Tabel 3 Tabel aturan penentuan tingkat buta warna [14] [9]

No	Aturan
R1	if A1 and B1 and C1 then 11
R2	if A2 and B2 and C3 then 10
R3	if A2 and B2 and C4 then 7
R4	if A2 and B3 and C2 then 9
R5	if A2 and B4 and C2 then 6
R6	if A3 and B2 and C2 then 8
R7	if A3 and B4 and C4 then 2
R8	if A4 and B1 and C2 then 5
R9	if A4 and B3 and C4 then 3
R10	if A4 and B4 and C3 then 4
R11	if A4 and B4 and C4 then 1

Keterangan : jika pengujian memberikan nilai peningkatan selain yang ada di tabel, maka algoritma akan memberikan hasil (kesimpulan) tingkat buta warna 'Tidak dikenali'.

Data Pengujian Algoritma dan Pembahasan

Akumulasi dan analisis pengujian dengan buku Ishihara dilakukan oleh dokter. Data pengujian algoritma yang dibuat adalah nilai peningkatan intensitas warna merah, hijau dan biru.

Tabel 4. Hasil pengujian buta warna dengan program pengolahan citra digital dan dengan buku Ishihara

Buku Plat Ishihara		Program		Keterangan	
Kanan	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri
25/25 N	0/25 BWT	N	RM	Tepat	Tepat
25/25 N	25/25 N	N	N	Tepat	Tepat
-	25/25 N	-	N	-	Tepat
25/25 N	25/25 N	N	N	Tepat	Tepat
25/25 N	25/25 N	N	N	Tepat	Tepat
24/25 N	17/25 MJ	N	N	Tepat	Tidak tepat
.....
25/25 N	25/25 N	N	N	Tepat	Tepat

Tabel 5 Tabel hasil total peningkatan warna pengujian buta warna dengan program pengolahan citra digital

Mata Kanan			Mata Kiri		
Merah	Hijau	Biru	Merah	Hijau	Biru
0	0	0	2550,0	2550,0	2550,0
76,4	72,8	119,0	64,6	117,5	255,0
-	-	-	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	29,3	71,6	136,3
...
0	0	0	0	0	0

Pada pengujian algoritma jumlah pasien total sebanyak 50 orang, pengujian mata kanan sebanyak 45 sampel, pengujian mata kiri sebanyak 45 sampel, sehingga total pengujian sebanyak 90 sampel. Pengujian yang tepat sebanyak 88 sampel dan yang tidak tepat sebanyak 2 sampel. Pengujian yang dilakukan pada pasien yang didiagnostik menderita buta warna sebanyak 14 sampel dan 2 sampel pengujian yang tidak tepat.

$$\text{Validasi (\%)} = \frac{\text{Jumlah pengujian tepat}}{\text{Jumlah pengujian total}} \times 100 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Validasi (\%)} &= \frac{88}{90} \times 100 \% \\ \text{Validasi (\%)} &= 97,8 \% \end{aligned}$$

Jika hanya menganalisis validasi untuk pengujian mata dengan defisiensi warna:

$$\begin{aligned} \text{Validasi (\%)} &= \frac{\text{Jumlah pengujian tepat}}{\text{Jumlah pengujian total}} \times 100 \% \\ \text{Validasi (\%)} &= \frac{12}{14} \times 100 \% \\ \text{Validasi (\%)} &= 85,7 \% \end{aligned}$$

Hasil penelitian dipengaruhi oleh faktor yang tidak bisa dikendalikan oleh peneliti. Pada penentuan tingkat buta warna dengan algoritma *rule-based forward chaining* memiliki faktor subjektifitas.

Dari hasil pengujian yang diperoleh dengan buku Ishihara hanya diperoleh kesimpulan berupa tingkat buta warna (defisiensi warna). Jika dibandingkan dengan buku Ishihara, algoritma pengujian tingkat buta warna selain mampu menentukan tingkat buta warna, juga mampu menganalisis panjang gelombang normal yang mampu dilihat oleh penderita.

Nilai panjang gelombang warna merah normal terletak pada 560 nm, warna hijau normal 530 nm, warna biru normal 420 nm. Sedangkan untuk nilai bit normal untuk warna merah, hijau dan biru normal adalah nol dengan peningkatan maksimum 255.

Tabel 6 Nilai batas peningkatan warna [15]

Warna	Batas panjang gelombang λ (nm)	Batas bit warna dalam program
Merah	560 – 530	0 – 255
Hijau	530 – 420	0 – 255
Biru	420 – 400	0 – 255

Sehingga dapat dibentuk persamaan interpolasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{\lambda_x - \lambda_{min}}{\lambda_{max} - \lambda_{min}} &= \frac{bit_x - bit_{min}}{bit_{max} - bit_{min}} \\ \frac{\lambda_x - 560}{530 - 560} &= \frac{bit_x - 0}{255 - 0} \\ \lambda_x &= \left\{ \frac{bit_x}{255} \times (\lambda_{max} - \lambda_{min}) \right\} + \lambda_{min} \\ \lambda_{merah} &= - \left(\frac{bit_{merah}}{255} \times 30 \right) + 560 \end{aligned}$$

$$\lambda_{hijau} = -\left(\frac{bit_{hijau}}{255} \times 90\right) + 530$$

$$\lambda_{biru} = -\left(\frac{bit_{biru}}{255} \times 20\right) + 420$$

KESIMPULAN

Penentuan tingkat buta warna dengan metode segmentasi ruang warna *fuzzy* dan *rule-based forward chaining* pada citra Ishiharaberhasil dilakukan dengan validasi total (pengujian pasien dengan mata normal normal dan defisiensi warna) sebesar 97,8 %, sedangkan untuk validasi pengujian pada pasien yang diidentifikasi adanya defisiensi warna sebesar 85,7 %.

SARAN

- Seharusnya diagnosis buta warna dilakukan sejak dini.
- Perlu adanya untuk penentuan hasil pengujian buta warna secara kuantitatif.
- Untuk memaksimalkan pengujian buta warna seseorang seharusnya digunakan citra yang divariasikan dari masing-masing komponen *hue*.
- Mengikuti perkembangan teknologi dan komputer, pengujian buta warna dengan pengolahan citra dapat dilakukan dengan pengolahan berbasis android, windows maupun sistem operasi lainnya sesuai standar baik piksel maupun intensitas cahaya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kurnia, R., 2009, *Penentuan Tingkat Buta Warna Bernbasis HIS Pada Citra Ishihara*. Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas: Padang.
- [2] Agusta, S., Tony M., dan Sidik M., 2012, *Instrumen Pengujian Buta Warna Otomatis*. Jurnal Ilmiah Elite Elektro, Vol. 3, No. 1. Depok: Universitas Indonesia.
- [3] Scanlons, V. C. dan Sanders, T., 2006, *Essentials of Anatomy and Physiology: fifth edition*. F.A. Davis Company, New York.
- [4] Ekajati, M. B., dan Priyambodo, T. K., 2010, *Fisika Listrik-Magnet, Optika, Fisika Modern*. Yogyakarta: Andi.
- [5] Dewi, L. A., Purwanto, A., dan Kuswanto, H., 2006, *Pergeseran Spektrum Pada PAda Filamen Lampu Wolfram*, Jurusan Fisika, FMIPA, UNY, Seminar Nasional MIPA: Yogyakarta
- [6] Sunarto, 2008, *Peranan Cahaya Dalam Proses Produksi di Laut*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Padjadjaran: Bandung.
- [7] Kadir, A., dan Adhi S., 2012, *Pengolahan Citra Teori dan aplikasi*, Yogyakarta: Penerbit Andi.
- [8] Nugroho, D. H., dan Ari S., 2007, *Pendekatan Color Segmentation pada Citra Kamera Termografi Infra Merah untuk Diagnosis Kerusakan Secara Otomatis*. Prosiding PPU, Pustek Akselerator dan Proses Bahan, Yogyakarta: BATAN.
- [9] Younes, A.A., Truck, I., dan Akdag, H., 2007, *Color Image Profiling Using Fuzzy Sets, on Turkish Journal of Electric Engineering & Computer Sciences*, Vol. 13, No. 3, pp. 343-359.
- [10] Deng, Y., Manjunath B.S. dan Hyundoo S., 2010, *Color Image Segmentation*, Departement of Electrical and Computer Engineering, University of California: Santa Barbara.
- [11] Folorunso, I. O., Abikoye, O. C., Jimoh, R. G. and Raji, K.S., 2012, *A Rule-Based Expert System for Mineral Identification*, Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences, VOL. 3, NO. 2, February 2012, ISSN 2079-8407, Department of geology and Mineral Sciences, University of Ilorin: Ilorin, Nigeria.
- [12] Tutik, G. K A., Rosa D., dan Umi P., 2009, *Penerapan Forward Chaining Pada Program Diagnosa Anak Penderita Autisme*, Jurnal Informatika, vol 5 no 2, November 2009, Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Yogyakarta: Universitas Kristen Duta Wacana.
- [13] Sandra. 2006. *Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan untuk Pendugaan Mutu Mangga Segar secara Non-Destruktif*. Jurnal Teknologi Pertanian. Vol. 6 No. 1 66- 72. Padang: Universitas Andalas
- [14] Colbindor, 2013, *Color Blind Essentials*, diakses dari: www.colbindor.com, 22 Maret 2013.
- [15] Simanungkalit, B. dan Bien P., 2012, *Colour Blind Test Buta Warna*, Jakarta: Penerbit Papas sinar Mas.