SISTEM DETEKSI GLAUKOMA DENGAN PENGUKURAN AREA OPTIK DISK PADA CITRA FUNDUS

GLAUCOMA DETECTION SYSTEM WITH OPTICAL DISK AREA MEASUREMENT ON FUNDUS IMAGE

Octavian Putera Kesuma Sugeng[1], Rita Magdalena, Ir.,M.T.[2], Hilman Fauzi TSP, S.T.,M.T.[3]

[1,2,3]Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

[1]putera@yahoo.com, [2]ritamagdalena@telkomuniversity.ac.id, [3]hilman.fauzitsp@gmail.com

Abstrak

Glaukoma adalah suatu penyakit yang umumnya disebabkan karena tekanan dalam bola mata meningkat, sehingga terjadi kerusakan pada saraf optikus dan menyebabkan penurunan fungsi penglihatan. Mengamati dan menganalisa citra fundus mata secara manual kadang menghasilkan diagnosa yang kurang obyektif dan akurat. Pada tugas akhir ini dirancang sistem deteksi penyakit glaukoma dengan pengukuran área optik disk. Ada dua tahapan proses dalam pembangunan sistem yaitu tahap pertama pemodelan dan tahap kedua pengujian. Dalam tiap tahapan proses awal adalah *preprocessing*, proses ini dilakukan dengan masukan citra fundus retina mata untuk mendapatkan hasil gambar citra biner yang selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah piksel pada área optik disk. Hasil dari proses ini sangat bergantung pada proses *preprocessing*. Selanjutnya proses identifikasi ciri dilakukan dengan klasifikasi menjadi 2 kelas, yaitu mata normal dan mata glaukoma. Berdasarkan hasil dari simulasi, dari 100 citra yang diujikan terdiri dari 50 mata glaukoma dan 50 mata normal didapatkan akurasi terbaik 96% yang dapat dilihat dari hasil klasifikasi jumlah piksel mata normal kurang dari 250125 piksel, mata glaukoma lebih dari atau sama dengan 250125 piksel dengan menggunakan nilai intensitas *threshold* citra kanal merah dan hijau.

Kata kunci : Glaukoma, *Optic nerve head*, Optik disk.

Abstract

Glaucoma is a disease that is usually caused by increased pressure in the eyeball, causing damage to the optic nerve and cause a decrease in visual function. Observing and analyzing the eye fundus image manually sometimes generate diagnoses less objective and accurate. In this final project designed detection system area glaucoma by measuring optical disk. There are two stages to build the identfication system, the first stage is modeling system and the second stage is testing system. In each stage of the initial process is preprocessing, this process is done with the input fundus image of the retina of the eye to get the binary image is then performed calculation of the number of pixels on the optical disk area. The results of this process depends on the preprocessing. Furthermore, the process of identifying characteristic is done by classification into two classes, namely the eyes is normal and the eye of glaucoma. Based on the results of the simulation, the image of the 100 tested consisted of 50 glaucoma eye and 50 normal eye obtained the best accuracy 96% which can be seen from the results of the classification of normal eye pixel count less than 250125 pixels and the eyes of glaucoma is more than or equal 250125 pixels using a threshold intensity value of the image red and green channels.

Keywords: *Glaucomas, Optic nerve head, Optical disk.*

1. Pendahuluan

Mata adalah salah satu indra terpenting dalam kehidupan kita. Kita bisa melihat dan menikmati semua yang ada di dunia dengan mata kita. Di dunia ini ada banyak penyakit mata. Salah satunya yang berbahaya adalah glaukoma. Menurut Badan Kesehatan Dunia atau *World Health Organization* (WHO), glaukoma merupakan penyebab kebutaan kedua terbesar di seluruh dunia setelah katarak. Diperkirakan pada tahun 2010 jumlah penderita glaukoma sebanyak 60.5 juta orang dan akan meningkat menjadi 79.6 juta orang pada tahun 2020 [1]. Glaukoma (Glaucoma) adalah penyakit mata yang ditandai dengan adanya peningkatan tekanan bola mata disertai kerusakan struktur dan fungsi syaraf optik. Citra mata yang dihasilkan oleh suatu alat khusus yang disebut kamera fundus, dapat memberikan informasi mengenai perubahan patologi yang disebabkan oleh penyakit ini. Selama ini dokter ahli mata (ophthalmologist) mengukur besarnya kerusakan saraf optik hanya berdasarkan perkiraan. Hal ini tentu saja akan memberikan hasil diagnosa kurang obyektif dan akurat.

Pada penelitian sebelumnya [2] [3], dilakukan proses simulasi dan analisis suatu sistem yang dapat membantu dokter mendeteksi ukuran optik disk pada foto fundus sehingga dapat mendiagnosis dengan cepat dan akurat. Didapat hasil dari simulasi, akurasi sistem mencapai 76% dengan waktu komputasi 1.51245 detik dan dari 30 citra yang diujikan, terdapat 26 citra yang berhasil terdeteksi optik disknya sebanyak 86,67%.

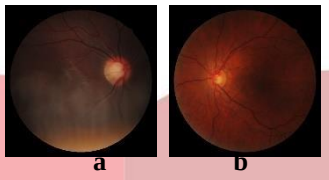
Adapun penelitian terkait dengan menggunakan Hough Trasnform dan Active Contours didapatkan akurasi sebesar 75,56% dari 30 citra [4].

Pada tugas akhir ini akan dihasilkan suatu sistem deteksi untuk mendiagnosa penyakit glaukoma dari luasan optik disk yang bertujuan untuk membantu seorang opthalmologist menghasilkan diagnosa yang lebih obyektif dengan akurasi sebesar 96%.

2. Mata

Mata adalah organ penglihatan yang mendeteksi cahaya [5]. Yang dilakukan mata yang paling sederhana tak lain hanya mengetahui apakah lingkungan sekitarnya adalah terang atau gelap. Mata yang lebih kompleks dipergunakan untuk memberikan pengertian visual.

Optik disk (*optic nerve head/papilla*) adalah daerah tempat keluar masuknya pembuluh-pembuluh darah dan saraf-saraf optik dari otak ke retina [6]. Bagian ini memiliki warna lebih terang dibandingkan bagian yang lain dan biasanya berbentuk lingkaran. Optik disk memiliki kira-kira 1,5 – 2 mm dan jarak antara optik disk ke *fovea* sekitar 3 mm.



Gambar 1. Optik disk yang normal (a) dan optik disk abnormal pada glaukoma (b)

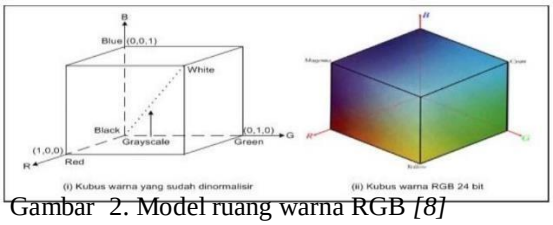
2.1. Glaukoma

Glaukoma merupakan suatu kumpulan penyakit yang mempunyai karakteristik umum neuropatik yang berhubungan dengan hilangnya fungsi penglihatan [1]. Walaupun kenaikan tekanan intraokuler adalah satu dari resiko primer, ada atau tidaknya faktor ini tidak merubah definisi penyakit. Memeriksa lempeng optik dan menentukan apakah mengalami *cupping* patologis. *Cupping* merupakan ciri normal lempeng optik. Lempeng dinilai dengan memperkirakan rasio vertikal mangkuk terhadap lempeng sebagai suatu keseluruhan (rasio mangkuk terhadap lempeng, *cup-to-disc ratio*). Pada mata normal, rasio ini biasanya tidak lebih besar dari 0,4. Namun terdapat kisaran angka yang cukup besar (0-0,8) dan ukuran mangkuk optik berkaitan dengan ukuran lempeng optik. Pada glaukoma kronis, rasio mangkuk terhadap lempeng pada bidang vertikal lebih besar dari 0,4 dan mangkuk menjadi lebih dalam [7].

2.2. Pengolahan Warna

1. Citra RGB [8]

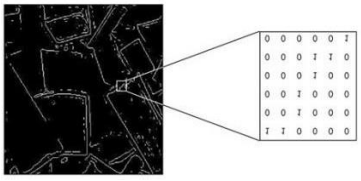
Citra yang direpresentasikan dalam RGB *model* terdiri dari tiga komponen citra, satu untuk tiap warna primer. Saat suatu citra ditampilkan dalam layar dengan RGB *model*, ketiga citra tersebut menyatu dalam tampilan layar menghasilkan citra dengan gabungan warna. Dalam sistem RGB juga dikenal istilah *pixel depth* (bit yang merepresentasikan tiap *pixel*). Jika setiap citra *red, green, blue* terdiri dari 8 bit, maka ukuran citra RGB menjadi 24 bit. Total jumlah warna untuk 24 bit RGB adalah 2^{24}=16,777,216.



Gambar 2. Model ruang warna RGB *[8]*

2. *Binary Image*

Setiap *pixel* hanya terdiri dari warna hitam atau putih, karena hanya ada dua warna untuk setiap *pixel*, maka hanya perlu 1 bit per *pixel* (0 dan 1) atau apabila dalam 8 bit (0 dan 255), sehingga sangat efisien dalam hal penyimpanan. Gambar yang direpresentasikan dengan biner sangat cocok untuk teks (dicetak atau tulisan tangan), sidik jari (*finger print*), atau gambar arsitektur.



Gambar 3. *Binary Image* [9]

2.3. Citra Fundus [10]

Saat kita melihat sebuah obyek, berkas-berkas sinar dipantulkan obyek ke kornea mata. Berkas-berkas sinar tersebut dibelokkan dan difokuskan oleh kornea, lensa dan *vitreous*. Fungsi lensa adalah untuk memastikan bahwa berkas-berkas sinar tersebut terfokus tajam ke retina. Pada retina, berkas sinar kemudian diubah menjadi sinyal listrik yang ditransmisikan melalui saraf optik (*optic nerve*) ke otak.

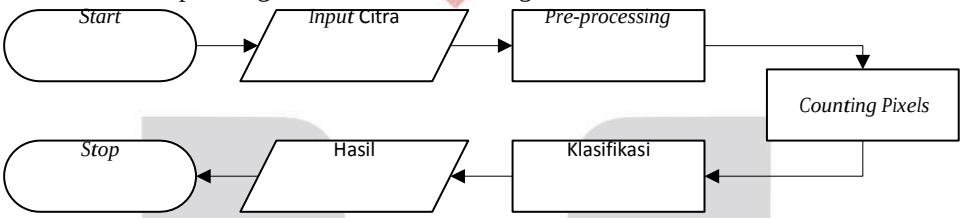
Seperti halnya sebuah kamera memerlukan lensa dan film, bola mata memerlukan lensa (kornea, *crystalline lens, vitreous*) untuk memfokuskan cahaya, dan retina (berfungsi seperti film). Retina merupakan membran tipis, transparan yang terdiri dari saraf sensorik penglihatan dan serat seraf optik. Berbentuk seperti jaring dan mempunyai metabolisme oksigen yang sangat tinggi.

2.4. Operasi Morfologi

Operasi morfologi adalah teknik pengolahan citra yang didasarkan pada bentuk segmen atau *region* dalam citra. Karena difokuskan pada bentuk objek, maka operasi ini biasanya diterapkan pada citra biner. Biasanya segmen tadi didasarkan pada objek yang menjadi perhatian. Segmentasi dilakukan denga nmembedakan antara objek dan latar, antara lain dengan memanfaatkan operasipengembangan yang mengubah citra warna dan skala keabuan menjadi citra biner. Nilai biner dari citra hasil merepresentasikan 2 keadaan: objek dan bukan objek (latar), meskipun lebih sering dilakukan pada *grayscale*. Hasil operasi morfologi dapat dimanfaatkan untuk pengambilan keputusan dengan analisis lebih lanjut. Operasi ini antara lain meliputi: pencarian batas atau kontur, dilasi, erosi, penutupan *(closing)*, pembukaan *(opening)*, pengisian *(fill)*, pelabelan *(labelling)*, dan pengerangkaan *(skeletonization)* [11].

2.5. Perancangan Sistem

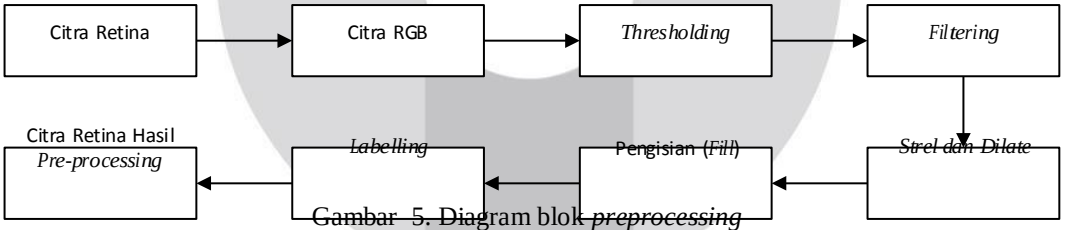
Secara garis besar sistem pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.



Gambar 4. Flowchart sistem secara umum

2.5.1. *Preprocessing*

Pre-processing merupakan tahap awal yang bertujuan untuk memperoleh karakteristik citra optik disk pada retina karena bagian inilah yang bersifat unik. Hal ini dilakukan agar objek yang diinginkan diperoleh dengan hasil maksimal dengan cara menghilangkan karakteristik lain yang ada pada citra fundus digital.



Gambar 5. Diagram blok *preprocessing*

1. Citra RGB
   Analisis citra fundus retina terhadap komponen RGB menunjukkan bahwa optik disk lebih mudah disegmentasi pada kanal merah dan kanal hijau. Karena itu hanya kanal merah dan kanal hijau pada citra fundus yang diproses.
2. *Thresholding*
   Optik disk memiliki warna yang lebih terang dari bagian lain dengan intensitas tertentu. Penentuan nilai *tresholding* dilakukan dengan memeriksa nilai salah satu piksel pada tepi optik disk. Selanjutnya setiap piksel yang nilai intensitasnya diatas nilai *treshold* akan bernilai 1, sementara yang nilai intensitasnya berada di bawah *treshold* akan bernilai 0. Sehingga akan dihasilkan citra biner baru yang mewakili optik disk. Pada optik disk terdapat tiga nilai *threshold* warna. Dari hasil percobaan, nilai *threshold* yang dipilih dalam tugas akhir ini adalah antara intensitas 175 sampai intensitas 180 untuk *layer* merah, *layer* hijau nilai *threshold* yang dipilih adalah intensitas 80, dan antara intensitas 20 sampai intensitas 28 untuk kanal biru.
3. *Filtering*
   Setelah nilai *threshold* yang ditentukan kemudian dilakukan proses *filtering* menggunakan *bwareaopen*, *filtering* dengan *bwareaopen* ini berfungsi untuk menghilangkan objek – objek yang berukuran kecil serta

mengganggu kinerja sistem pada citra biner baru.

4. *Strel* dan *Dilate*
   Untuk mendapatkan optik disk yang lebih akurat, pembuluh darah pada optik disk harus dihilangkan. Salah satu proses yang dilakukan untuk menghilangkan pembuluh darah adalah dengan menggunakan strel berbentuk disk. Strel disk yang digunakan berukuran 50. Strel disk berukuran 50 mampu mencirikan optik disk dengan jelas. Setelah citra diubah menjadi citra biner, segmentasi masih belum maksimal dikarenakan terdapat bagian-bagian lain yang terbawa. Umumnya bagian-bagian yang tersegmentasi berukuran kecil dibanding dengan optik disk. Bagian-bagian ini ditebalkan dengan proses *dilate*.
5. Pengisian *(Fill)*
   Tahap ini menggunakan *imfill*. Fungsi pengisian ini bertujuan untuk mengisi bagian-bagian yang kosong di dalam area tertutup. Hal ini diperlukan untuk menghindari celah kosong hasil proses pengubahan citra RGB ke citra biner, bagian kosong dalam area tertutup sering terjadi di citra hasil akuisisi, misal karena efek cahaya yang kurang merata.
6. Pada proses ini dilakukan *labelling* untuk menghilangkan objek-objek yang tidak dinginkan dan memperbaiki citra optik disk. Salah satu proses yang dilakukan untuk memperbaiki citra optik disk adalah dengan mengisi tiap baris dengan nilai intensitas bernilai 1 dari batas tepi awal hingga batas tepi akhir optik disk. Hasil yang didapat berupa citra biner optik disk yang akan digunakan pada proses selanjutnya.

2.5.2. *Counting Pixels*

Masukan dari proses ini adalah citra fundus retina yang sudah melalui proses *pre-processing* dan berbentuk citra biner dimana setiap piksel yang nilai intensitasnya bernilai 1 merupakan luasan optik disk. Deteksi glaukoma ditentukan dari luasan optik disk dengan menghitung total nilai intensitas yang bernilai 1 menggunakan fungsi *sum* yang merupakan fungsi *built-in* pada *MATLAB*. Hasil yang didapat dari proses ini adalah jumlah piksel yang akan digunakan pada proses klasifikasi.

2.5.3. Klasifikasi

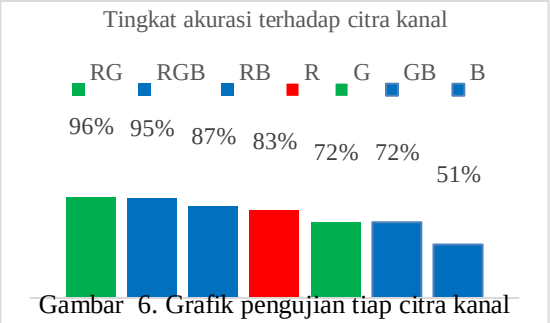
Proses klasifikasi sistem deteksi glaukoma terbagi menjadi dua kelas, yaitu: mata normal dan mata glaukoma. Prinsipnya, jumlah piksel citra optik disk akan menghasilkan batas tengah. Hasil dari batas tersebut akan menentukan kelas citra fundus. Batas tengah didapat dari irisan nilai terbesar jumlah piksel pada citra biner mata normal dengan mata glaukoma. Analisis yang dilakukan pada sistem deteksi glaukoma adalah pengaruh batas tengah yang digunakan terhadap akurasi dan kesalahan sistem. Sistem deteksi glaukoma dapat dilihat dari citra fundus retina dengan klasifikasi sebagai berikut :

1. Mata Normal
   Sebuah citra fundus retina dikatakan normal apabila jumlah piksel lebih kecil dari batas jumlah piksel mata glaukoma.
2. Mata Glaukoma
   Sebuah citra fundus retina dikatakan glaukoma apabila jumlah piksel lebih besar dari batas jumlah piksel mata normal.

3. Pembahasan

3.1. Analisis Skenario 1

Tujuan dilakukannya proses pengujian scenario 1 adalah untuk mendapatkan batas tengah jumlah piksel yang optimal pada kombinasi citra kanal. Dengan menunjukkan hasil akurasi yang diperoleh, batas tengah digunakan sebagai klasifikasi sistem. Berikut hasil perhitungan performansi akurasi sistem dengan kombinasi citra kanal yang telah ditentukan sebelumnya.



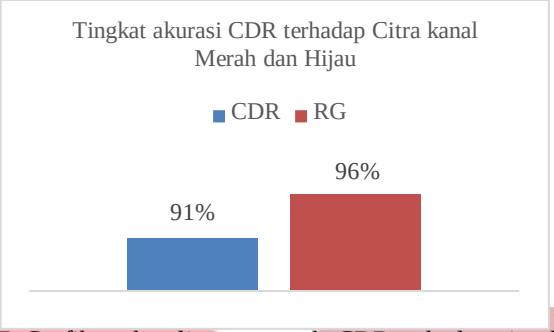
Gambar 6. Grafik pengujian tiap citra kanal

Dari hasil pengujian, maka kombinasi citra kanal terbaik adalah citra kanal merah dan hijau (RG) dengan akurasi maksimum mencapai 96%. Grafik 6. menunjukkan akurasi dari citra kanal RG lebih baik dibandingkan kombinasi citra kanal yang lain. Dari 100 citra yang diuji 96 citra berhasil dideteksi secara akurat dan 4 citra tidak berhasil dideteksi. Sehingga didapatkan batas tengah jumlah piksel untuk klasifikasi sistem adalah

250125 piksel.

3.2. Analisis Skenario 2

Berikut hasil perbandingan performansi akurasi sistem metode *cup to disc ratio* dengan konfigurasi citra kanal RG, citra kanal warna merah dengan nilai threshold lebih besar dari 175 dan citra kanal warna hijau dengan nilai threshold lebih besar dari 80 yang telah ditentukan sebelumnya.

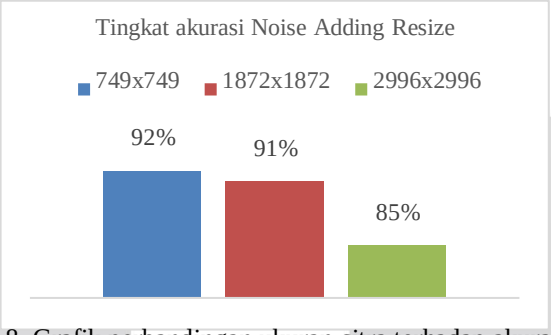


Gambar 7. Grafik perbandingan metode CDR terhadap citra kanal RG

Dari hasil pengujian, metode CDR hanya mendapat akurasi sebesar 91%, sehingga penggunaan citra kanal RG lebih baik dengan akurasi maksimal sebesar 96% dibandingkan metode CDR.

3.3. Analisis Skenario 3

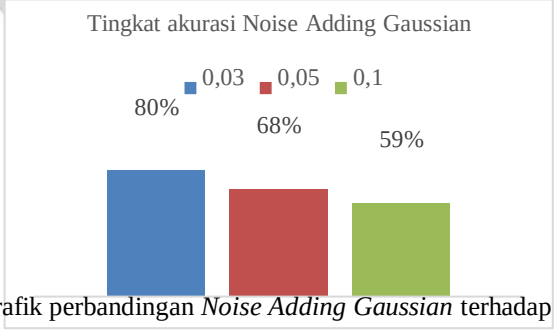
Berikut hasil perhitungan performansi akurasi sistem dengan penambahan *noise resize* pada citra dengan ukuran yang telah ditentukan sebelumnya.



Gambar 8. Grafik perbandingan ukuran citra terhadap akurasi sistem

Dari hasil pengujian yang dilakukan didapatkan bahwa variasi ukuran citra mempengaruhi akurasi sistem untuk mengidentifikasi sebuah citra. Semakin kecil ukuran citra yang digunakan maka akurasi sistem yang diperoleh akan semakin meningkat seperti bisa dilihat pada Grafik 4.3.

Berikut hasil perhitungan performansi akurasi sistem dengan penambahan *noise gaussian* pada citra dengan nilai intensitas yang telah ditentukan sebelumnya.



Gambar 9. Grafik perbandingan *Noise Adding Gaussian* terhadap akurasi sistem

Dari hasil pengujian, metode CDR hanya mendapat akurasi sebesar 91%, sehingga penggunaan citra kanal RG lebih baik dengan akurasi maksimal sebesar 96% dibandingkan metode CDR.

3.4. Analisis Performansi Sistem

Untuk menghitung hasil performansi sistem pada penelitian ini menggunakan hasil performansi akurasi sistem yang didapatkan dan waktu komputasi sistem.

3.4.1 Akurasi

Dari hasil pengujian skenario yang dilakukan, didapatkan konfigurasi batas yang optimal untuk sistem deteksi glaukoma berdasarkan citra fundus retina. Dengan menggunakan ukuran citra 3744×3744 piksel. Berikut hasil pengujian sistem:

Tabel 1. Hasil Pengujian Akurasi dan *Error* pada Skenario 1

No	Kanal	Jumlah data		Akurasi	*Error*
		Akurat	Tidak Akurat		
1	Merah	83	17	83%	17%
2	Hijau	72	28	72%	28%
3	Biru	51	49	51%	49%
4	Merah & Hijau	96	4	96%	4%
5	Merah & Biru	87	13	87%	13%
6	Hijau & Biru	72	28	72%	28%
7	Merah, Hijau & Biru	95	5	95%	5%

Tabel 2. Hasil Pengujian Akurasi dan *Error* pada Skenario 2

No	Metode	Jumlah data		Akurasi	*Error*
		Akurat	Tidak Akurat		
1	CDR	86	14	91%	9%
2	Citra kanal RG	96	4	96%	4%

Tabel 3. Hasil Pengujian Akurasi dan *Error* pada Skenario 3

No	Ukuran Citra	Intensitas *Gaussian*	Jumlah data		Akurasi	*Error*
			Akurat	Tidak Akurat		
1	749x749		92	8	92%	8%
2	1872x1872		91	9	91%	9%
3	2996x2996		85	15	85%	15%
4		0.03	80	20	80%	20%
5		0.05	68	32	68%	32%
6		0.1	59	41	59%	41%

Dari hasil pengujian yang dilakukan didapatkan adanya pengaruh pada penggunaan varian kanal citra dengan hasil identifikasi menunjukkan akurasi terbaik dengan citra kanal merah dan hijau sebesar 96% dengan *error* 4% seperti terlihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Pada pengujian *Noise Adding* pada citra dilakukan dengan perubahan ukuran citra dan penambahan *Gaussian Noise* dengan nilai intensitas tertentu didapatkan akurasi terbaik dengan ukuran citra 749x749 piksel akurasi 92% dan *error* 8% sedangkan penambahan *Gaussian Noise* didapatkan akurasi terbaik dengan akurasi 80% dan *error* 20%.

3.4.2 Waktu Komputasi

Pada pengujian analisis waktu komputasi diuji pengaruh variasi ukuran citra dan pengaruh tiap kanal untuk mencari waktu komputasi rata-rata dalam mengidentifikasi sebuah citra. Berikut hasil pengujian yang dilakukan:

Tabel 4. Hasil Pengujian Waktu Komputasi tiap kanal pada Citra Fundus Retina Mata

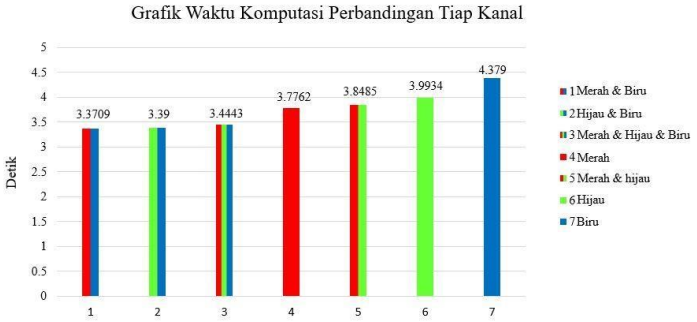
No	Kanal	Jumlah Citra	Waktu Komputasi Total	Waktu Komputasi Rata-rata
1	Merah	100	377.62 detik	3.7762 detik
2	Hijau	100	399.34 detik	3.9934 detik
3	Biru	100	437.9 detik	4.379 detik
4	Merah & Hijau	100	384.85 detik	3.8485 detik
5	Merah & Biru	100	337.09 detik	3.3709 detik
6	Hijau & Biru	100	339 detik	3.39 detik
7	Merah, Hijau & Biru	100	344.43 detik	3.4443 detik

Tabel 5. Hasil Pengujian Waktu Komputasi dengan penambahan *Noise Adding* pada Citra Fundus Retina Mata

No	Ukuran Citra	Intensitas *Gaussian*	Jumlah Citra	Waktu Komputasi Total	Waktu Komputasi Rata-rata
1	749x749		100	192.77 detik	1.9277 detik
2	1872x1872		100	231.45 detik	2.3145 detik
3	2996x2996		100	298.48 detik	2.9848 detik

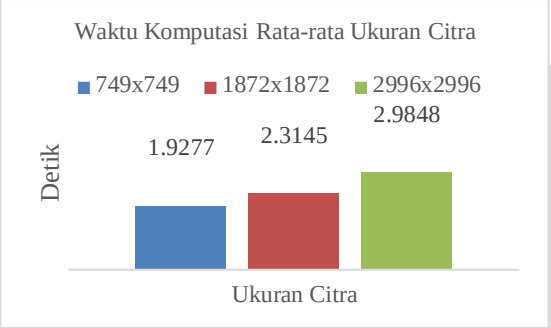
4	[redacted]	0.03	100	531.99 detik	5.3199 detik
5	[redacted]	0.05	100	539.58 detik	5.3958 detik
6	[redacted]	0.1	100	575.09 detik	5.7509 detik

Dengan menggunakan kombinasi tiap kanal dilakukan pengujian waktu komputasi untuk mendapatkan waktu komputasi rata-rata yang dibutuhkan dalam mengidentifikasi sebuah citra, berikut hasil pengujian yang dilakukan:



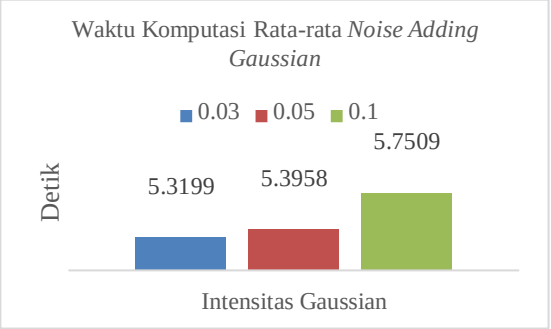
Gambar 10. Perbandingan Waktu Komputasi Terhadap Tiap Kanal

Dari hasil pengujian yang didapatkan bahwa variasi penggunaan tiap citra kanal mempengaruhi waktu komputasi sistem untuk mengidentifikasi sebuah citra. Tetapi dalam hal pengaruh terhadap akurasi tiap kanalnya tidak dapat ditarik kesimpulan oleh karena citra kanal merah dan hijau dengan perolehan akurasi terbaik 96% hanya memperoleh waktu komputasi rata-rata 3.8485 tidak terlalu cepat dibandingkan dengan citra kanal merah dan biru yang memperoleh waktu komputasi rata-rata 3.3709 detik dengan perolehan akurasi hanya 87%.



Gambar 11. Grafik Perbandingan Waktu Komputasi Terhadap Ukuran Citra

Dari hasil pengujian yang didapatkan bahwa variasi ukuran citra mempengaruhi waktu komputasi sistem untuk mengidentifikasi sebuah citra. Semakin besar ukuran citra yang digunakan maka waktu komputasi yang dibutuhkan akan semakin meningkat seperti bisa dilihat pada grafik pengujian di Gambar 11. Pada pengujian waktu komputasi optimal didapat pada ukuran citra 749x749 dengan waktu komputasi rata-rata 1.9277 detik, karena ukuran piksel citra yang kecil sehingga proses yang terjadi pada sistem semakin cepat.



Gambar 12. Grafik Perbandingan Waktu Komputasi Terhadap *Noise Adding Gaussian*

Dari hasil pengujian yang didapatkan bahwa pengaruh penambahan *Gaussian Noise* pada citra mempengaruhi waktu komputasi sistem untuk mengidentifikasi sebuah citra. Semakin besar nilai intensitas *Gaussian* yang digunakan maka waktu komputasi yang dibutuhkan akan semakin meningkat seperti bisa dilihat pada grafik pengujian di Gambar 12. Pada pengujian waktu komputasi optimal didapat pada nilai intensitas 0.03 dengan waktu komputasi rata-rata 5.3199 detik, karena nilai intensitas yang kecil hanya menambahkan *noise*

gaussian yang sedikit pada citra sehingga proses yang terjadi pada sistem semakin cepat.

3.5. Hasil Akhir Pengujian

Dari semua analisis yang sudah diuji dapat berpengaruh pada akurasi sistem yang dirancang. Berikut semua hasil pengujian dari pengujian seluruh data pada sistem:

Tabel 6. Tabel Hasil Akhir Pengujian

Kanal	Batas Jumlah Piksel (satuan dalam piksel)	Akurasi
Merah & Hijau	Mata Normal < 250125 ≤ Mata Glaukoma	96%

Berdasarkan Tabel 6 dapat disimpulkan bahwa dari semua pengujian menggunakan citra RGB dan mentode CDR dapat disimpulkan citra RGB memiliki akurasi terbaik dalam mendeteksi optik disk dengan akurasi tertinggi 96% dan *error* terendah 4% yang akan digunakan sebagai batas jumlah piksel pada sistem adalah 250125 piksel. Sistem akan mendeteksi mata normal jika jumlah piksel kurang dari 250125 piksel dan sistem akan mendeteksi mata glaukoma jika jumlah piksel lebih dari atau sama dengan 250125 piksel.

4. Kesimpulan

Dari hasil analisis pengujian sistem deteksi penyakit glaukoma dengan pengukuran area optik disk berbasis citra fundus pada tugas akhir ini, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Citra RGB lebih cocok digunakan pada sistem klasifikasi mata normal dan mata glaukoma. Dengan menggunakan citra kanal merah dan hijau didapatkan akurasi 96%, sedangkan dengan metode *cup-to-disc ratio* didapatkan akurasi 91%
2. Dari semua hasil pengujian, maka batas optimal jumlah piksel yang terbaik diperoleh dari pengujian seluruh data pada sistem yang dapat dilihat dari hasil klasifikasi dengan jumlah piksel mata normal kurang dari 250125 piksel dan mata glaukoma lebih dari atau sama dengan 250125 piksel.
3. Kelemahan dari sistem ini adalah ciri yang didapat hanyalah luasan optik disknya, karena hanya ciri tersebut yang terlihat jelas dari citra fundus retina mata sehingga hanya satu ciri saja yang dapat dideteksi.
4. Tingkat akurasi tertinggi yang didapat dari hasil pengujian perubahan ukuran citra adalah 92% dengan 749x749 piksel, sedangkan dengan penambahan *Gaussian noise* didapat 80% dengan intensitas 0.03.
5. Dengan ukuran citra yang semakin kecil dapat mempercepat waktu klasifikasi, namun belum tentu memiliki tingkat akurasi yang baik.
6. Waktu komputasi dengan citra merah dan hijau lebih lama dengan waktu komputasi rata-rata 3.8485 detik dibandingkan dengan citra kanal merah dan biru yang memperoleh waktu komputasi rata-rata 3.3709 detik.

Daftar Pustaka:

[1] H. A. Quigley and A. T. Broman, "The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020," in *Br J Ophthalmol*, vol. 90(3), 2006, pp. 262-267.

[2] F. Hadi, Deteksi Glukoma Pada Foto Fundus Resolusi Tinggi, Bandung: Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, 2015.

[3] A. Pramiardani, Diagnosa Glukoma Berdasarkan Rasio Optic Disk Terhadap Cup Disk Dari Citra Fundus Retina Dengan Transformasi Hough, Bandung: Fakultas Elektro dan Komunikasi, Universitas Telkom, 2014.

[4] H. Tjandrasa, "Optic Nerve Head Segmentation Using Hough Transform and Active Contours," *TELKOMNIKA*, vol. 10, no. 3, pp. 531-536, September 2012.

[5] H. Kolb, How the Retina Works, American Scientist, 2003.

[6] A. A. Sadun, J. S. Glaser and S. Bose, "Duane's Ophthalmology," in *Chapter 4, Anatomy of the Visual Sensory System*, 2006.

[7] B. James, C. Chew and A. Bron, Lecture Notes on Ophthalmologhy, Ninth Edition, Blackwell Publishing, 2003.

[8] Rafael C. Gonzales, Richard E. Woods, Digital Image Processing, Pearson Education, 2011.

[9] M. Alasdair, An Introduction to Digital Image Processing with Matlab. Notes for SCM2511 Image Processing 1, School of Computer Science and Mathematics Victoria University of Technology, 2004.

[10] S. M. B., Shields Textbook of Glaucoma, 4th Ed, Newyork: Lippincott Williams and Wilkins, 2005.

[11] A. Nalwan, Pengolahan Gambar Secara Digital, Jakarta: PT. Elex Media Komputindo, 2001.