



**TUGAS AKHIR - KI091391**

**IMPLEMENTASI SEGMENTASI LESI MERAH  
PADA CITRA FUNDUS RETINA MATA  
BERWARNA MENGGUNAKAN PENDEKATAN  
MORFOLOGI**

**PRADITA LARASATI ANGGANINGTYAS  
NRP 5110100067**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Handayani Tjandrasa, M.Sc., Ph.D.**

**JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2014**



**FINAL PROJECT - KI091391**

**IMPLEMENTATION OF RED LESION  
SEGMENTATION IN EYE RETINAL FUNDUS  
IMAGE USING MORPHOLOGICAL APPROACH**

**PRADITA LARASATI ANGGANINGTYAS  
NRP 5110100067**

**Supervisor  
Prof. Ir. Handayani Tjandrasa, M.Sc., Ph.D.**

**DEPARTMENT OF INFORMATICS  
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2014**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**IMPLEMENTASI SEGMENTASI LESI MERAH PADA**  
**CITRA FUNDUS RETINA MATA BERWARNA**  
**MENGGUNAKAN PENDEKATAN MORFOLOGI**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat**  
**Memperoleh Gelar Sarjana Komputer**  
**pada**  
**Bidang Studi Komputasi Cerdas dan Visualisasi**  
**Jurusan Teknik Informatika**  
**Fakultas Teknologi Informasi**

**Oleh:**

**PRADITA LARASATI ANGGANINGTYAS**

**NRP: 5110 100 067**

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:**

Prof. Ir. Handayani Tjandrasa, M.S.  
NIP: 19490823 197603 2 001



**SURABAYA**  
**JULI, 2014**

# IMPLEMENTASI SEGMENTASI LESI MERAH PADA CITRA FUNDUS RETINA MATA BERWARNA MENGUNAKAN PENDEKATAN MORFOLOGI

Nama : Pradita Larasati Angganingtyas  
NRP : 5110100067  
Jurusan : Teknik Informatika, FTIf-ITS  
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Handayani Tjandrasa, M.Sc.,  
Ph.D.

## Abstrak

*Mata manusia terdiri dari banyak susunan komponen yang dapat memberikan informasi mengenai kondisi tubuh kita. Salah satu penyakit yang memiliki dampak besar kepada penglihatan manusia adalah retinopati diabetes. Retinopati diabetes menyebabkan pendarahan pada retina yang dapat menyebabkan kebutaan permanen. Pendeteksian manual terhadap pendarahan atau lesi merah pada retina cukup sulit dilakukan karena penampakan atribut pada citra fundus mata berwarna cukup kompleks. Sehingga dibutuhkan adanya sistem yang dapat secara otomatis dan akurat dalam melakukan segmentasi terhadap lesi merah (microaneurysm dan hemorrhage) pada citra fundus retina mata berwarna.*

*Pada Tugas Akhir ini, metode yang akan diimplementasikan dalam proses segmentasi lesi merah pada citra fundus retina mata berwarna adalah matematika morfologi. Terdapat tiga tahap dalam Tugas Akhir ini. Tahap pertama adalah preprocessing dengan mengekstraksi Green channel dari ruang warna citra RGB dan mengimplementasikan algoritma Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE). Tahap kedua adalah segmentasi dengan metode matematika morfologi dan tahap terakhir adalah perbaikan segmentasi. Uji coba pada Tugas Akhir ini menggunakan Citra fundus retina mata berwarna pada dataset DIARETDB1 yang terdiri dari 89 foto retina yang diambil dengan 50 derajat kamera fundus digital. Dengan menggunakan*

*dataset ini, didapatkan rata rata akurasi 99,22%, sensitivitas 81,32 % dan spesifisitas 99,59% pada 25 kali percobaan. Metode tersebut terbukti dapat mensegmentasi lesi merah pada citra fundus retina mata berwarna dengan baik.*

***Kata kunci: Segmentasi, Lesi Merah, Citra fundus retina mata berwarna, Matematika Morfologi.***

# IMPLEMENTATION OF RED LESION SEGMENTATION IN EYE RETINAL FUNDUS IMAGES USING MORPHOLOGICAL APPROACH

Name : Pradita Larasati Angganingtyas  
NRP : 5110100067  
Department : Informatics Engineering, FTIf-ITS  
Supervisor : Prof. Ir. Handayani Tjandrasa, M.Sc., Ph.D.

## ***Abstract***

*Human eyes consist of many structured components that can give information about condition of our body. One of the diseases that has a huge impact on human's vision is diabetic retinopathy. Diabetic retinopathy causes hemorrhaging in retina that can cause permanent blindness. Manual detection concerning hemorrhages or red lesions on retina is hard enough due to the complexity of component on colored eye retinal fundus images. Therefore, it is required the existence of a system that can automatically and accurately do the detection of red lesions (microaneurysm and hemorrhages) on colored eye retinal fundus images.*

*In this Final Project, the method that will be implemented in the process of segmentation of red lesions on the colored eye retinal fundus images is mathematical morphology. There are three steps in this Final Project. The first step is to do the preprocessing by extracting green channel from RGB color space and implementing Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) algorithm. The Second step is implementing the segmentation by mathematical morphology method and the last step is perbaikan segmentasi. Experiments in this Final Project use colored eye retinal fundus images taken from DIARETDB1 dataset which consists of 89 retinal image that captured by 50 degrees field of view digital fundus camera. By using this dataset for 25 times of experiments, obtained these*

*following results; the average accuracy is 99,22%, the sensitivity is 81,32% and the spesificity is 99,59%. This method is proven to be able to do the segmentation on red lesions of colored eye retinal fundus images.*

***Keywords: Segmentation, Red Lesions, Colored eye retinal fundus images, Mathematical Morphology.***

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “*Implementasi Segmentasi Lesi Merah pada Citra Fundus Retina Mata Berwarna Menggunakan Pendekatan Metode Morfologi*” dengan tepat waktu.

Harapan dari penulis semoga apa yang tertulis di dalam buku Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan saat ini, serta dapat memberikan kontribusi yang nyata bagi kampus Teknik Informatika, ITS, dan bangsa Indonesia.

Dalam pelaksanaan dan pembuatan Tugas Akhir ini tentunya sangat banyak bantuan yang penulis terima dari berbagai pihak, tanpa mengurangi rasa hormat penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, karena atas limpahan rahmad-Nya, penulis diberikan kemudahan dan kelancaran dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
2. Mama, Papa dan Pigo yang telah memberikan dukungan moral, spiritual dan material, semangat, perhatian, selalu setia dan sabar dalam menghadapi curhatan dari penulis, serta selalu memberikan doa yang tiada habisnya yang dipanjatkan untuk penulis.
3. Prof. Ir. Handayani Tjandrasa, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing penulis yang telah memberikan banyak arahan dan bantuan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Dr. Nanik Suciati selaku ketua jurusan Teknik Informatika ITS, dan segenap dosen Teknik Informatika yang telah memberikan ilmunya.

5. Bapak dan Ibu staf Tata Usaha yang telah memberikan bantuan dan kemudahan kepada penulis selama masa perkuliahan di Teknik Informatika ITS.
6. Mochammad Ficky, yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
7. Teman-teman seperjuangan, Dori, Munyeng, Helen, Dipi, Feo, Dinda, Une, Arida, Etek, Farah, Tora, Winny, Olyn dan Yunita yang menjadi teman dalam bertahan menjadi mahasiswi teknik.
8. Teman-teman user TA di Laboraturium Visual & Image Processing, yang telah memberikan bantuan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
9. Teman-teman angkatan 2010 yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis selama ini.
10. Keluarga D10, Dipi, Cia, dan Mbak Irma yang selalu menghibur dan memberikan semangat selama penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Juga tak lupa kepada semua pihak yang belum sempat disebutkan satu per satu di sini yang telah membantu terselesaikannya tugas akhir ini.

Kesempurnaan tentu masih belum tercapai pada tugas akhir ini. Karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca untuk perbaikan selanjutnya.

Surabaya, Juni 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
Abstrak .....	vii
<i>Abstract</i> .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xxi
DAFTAR KODE SUMBER .....	xxv
BAB I .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Metodologi .....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II .....	7
2.1 Pengolahan Citra .....	7
2.1.1 Citra <i>Green Channel</i> .....	7
2.1.2 Perbaikan Citra .....	8
2.1.3 Segmentasi Citra .....	12
2.1.4 Operasi Morfologi.....	14
2.2 Tahap Perhitungan Tingkat Kebenaran .....	29
BAB III.....	31
3.1 Desain Metode Secara Umum .....	31
3.2 Perancangan Data .....	33
3.2.1 Data Masukan .....	33
3.2.2 Data Proses .....	34
3.2.3 Data Keluaran .....	36
3.3 Perancangan Proses .....	37
3.3.1 Tahap <i>Preprocessing</i> .....	37
3.3.2 Tahap Segmentasi .....	40
3.3.3 Tahap Perbaikan Segmentasi .....	51
3.3.4 Perancangan Antarmuka Perangkat Lunak.....	54

BAB IV .....	57
4.1 Lingkungan Implementasi .....	57
4.2 Implementasi Proses .....	57
4.2.1 Implementasi Fungsi Utama .....	57
4.2.2 Implementasi Tahap <i>Preprocessing</i> citra .....	59
4.2.3 Implementasi Tahap Segmentasi .....	60
4.2.4 Implementasi Tahap Perbaikan segmentasi .....	68
4.2.5 Implementasi Perhitungan tingkat kebenaran hasil segmentasi .....	70
BAB V .....	75
5.1 Lingkungan Uji Coba .....	75
5.2 Data Uji Coba .....	75
5.3 Skenario Uji Coba .....	78
5.4 Skenario Pengujian 1: Perbandingan Jumlah Iterasi Pada Proses <i>Alternating sequential filter</i> .....	78
5.5 Skenario Pengujian 2: Perbandingan Nilai <i>Threshold</i> Pada Proses Binerisasi Citra Hasil Eliminasi <i>Fovea</i> .....	84
5.6 Skenario Pengujian 3: Perbandingan Ukuran <i>Structuring Element</i> Pada Proses perbaikan citra dengan <i>Bottom-Hat transform</i> .....	91
5.7 Skenario Pengujian 4: Perbandingan Rentang Parameter Standar Deviasi Pada Proses 2D Gaussian Low Pass Filter .....	98
5.8 Skenario Pengujian 5: Perbandingan Nilai <i>Threshold</i> Pada Proses Binerisasi Citra Hasil Segmentasi Pembuluh Darah .....	105
5.9 Evaluasi .....	111
BAB VI .....	113
6.1 Kesimpulan .....	113
6.2 Saran .....	115
DAFTAR PUSTAKA .....	117
LAMPIRAN .....	119
BIODATA PENULIS .....	153

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data proses .....	34
Tabel 4.1 Lingkungan Perancangan Perangkat Lunak .....	57
Tabel 5.1 Citra Uji Coba Kinerja Perangkat Lunak (bagian 1) ...	76
Tabel 5.2 Citra Uji Coba Kinerja Perangkat Lunak (bagian 2) ...	77
Tabel 5.3 Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 1 Pada Citra image010.png .....	81
Tabel 5.4 Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 1 Pada Citra image011.png .....	83
Tabel 5.5 Hasil Rata-Rata Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 1 .....	83
Tabel 5.6 Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 2 Pada Citra image020.png .....	87
Tabel 5.7 Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 2 Pada Citra image022.png .....	90
Tabel 5.8 Hasil Rata-Rata Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 2 .....	90
Tabel 5.9 Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 3 Pada Citra image025.png .....	92
Tabel 5.10 Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 3 Pada Citra image064.png .....	95
Tabel 5.11 Hasil Rata-Rata Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 3 .....	98
Tabel 5.12 Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 4 Pada Citra image020.png .....	99
Tabel 5.13 Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 4 Pada Citra image025.png .....	102
Tabel 5.14 Hasil Rata-Rata Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 4 .....	105

Tabel 5.15 Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 5 Pada Citra image010.png .....	106
Tabel 5.16 Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 5 Pada Citra image022.png .....	108
Tabel 5.17 Hasil Rata-Rata Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 5.....	111
Tabel A.1 Citra-Citra Masukan (bagian 1).....	119
Tabel A.2 Citra-citra Masukan (bagian 2).....	120
Tabel A.3 Hasil Perbandingan Iterasi dari Proses <i>Alternating Sequential Filter</i> pada image003.png.....	121
Tabel A.4 Hasil Perbandingan Iterasi dari Proses <i>Alternating Sequential Filter</i> pada image005.png.....	122
Tabel A.5 Hasil Perbandingan Iterasi dari Proses <i>Alternating Sequential Filter</i> pada image007.png.....	123
Tabel A.6 Hasil Perbandingan Iterasi dari Proses <i>Alternating Sequential Filter</i> pada image008.png.....	124
Tabel A.7 Hasil Perbandingan Iterasi dari Proses <i>Alternating Sequential Filter</i> pada image013.png.....	125
Tabel A.8 Hasil Perbandingan Iterasi dari Proses <i>Alternating Sequential Filter</i> pada image015.png.....	126
Tabel A.9 Hasil Perbandingan Nilai <i>Threshold</i> dari Binerisasi Citra Pertama pada image014.png.....	127
Tabel A.10 Hasil Perbandingan Nilai <i>Threshold</i> dari Binerisasi Citra Pertama pada image016.png.....	128
Tabel A.11 Hasil Perbandingan Nilai <i>Threshold</i> dari Binerisasi Citra Pertama pada image018.png.....	129
Tabel A.12 Hasil Perbandingan Nilai <i>Threshold</i> dari Binerisasi Citra Pertama pada image019.png.....	130
Tabel A.13 Hasil Perbandingan Nilai <i>Threshold</i> dari Binerisasi Citra Pertama pada image021.png.....	131

Tabel A.14 Hasil Perbandingan Nilai <i>Threshold</i> dari Binerisasi Citra Pertama pada image023.png.....	132
Tabel A.15 Hasil Perbandingan Ukuran Structuring Element untuk Proses Bottom-Hat Transform pada image024.png .....	133
Tabel A.16 Hasil Perbandingan Ukuran Structuring Element untuk Proses Bottom-Hat Transform pada image026.png .....	134
Tabel A.17 Hasil Perbandingan Ukuran Structuring Element untuk Proses Bottom-Hat Transform pada image053.png .....	135
Tabel A.18 Hasil Perbandingan Ukuran Structuring Element untuk Proses Bottom-Hat Transform pada image065.png .....	136
Tabel A.19 Hasil Perbandingan Ukuran Structuring Element untuk Proses Bottom-Hat Transform pada image066.png .....	137
Tabel A.20 Hasil Perbandingan Ukuran Structuring Element untuk Proses Bottom-Hat Transform pada image067.png .....	138
Tabel A.21 Hasil Perbandingan Ukuran Structuring Element untuk Proses Bottom-Hat Transform pada image084.png .....	139
Tabel A.22 Hasil Perbandingan Nilai Standar Deviasi dari 2D Gaussian Low Pass filter pada image014.png.....	140
Tabel A.23 Hasil Perbandingan Nilai Standar Deviasi dari 2D Gaussian Low Pass filter pada image016.png.....	141
Tabel A.24 Hasil Perbandingan Nilai Standar Deviasi dari 2D Gaussian Low Pass filter pada image019.png.....	142
Tabel A.25 Hasil Perbandingan Nilai Standar Deviasi dari 2D Gaussian Low Pass filter pada image021.png.....	143
Tabel A.26 Hasil Perbandingan Nilai Standar Deviasi dari 2D Gaussian Low Pass filter pada image022.png.....	144
Tabel A.28 Hasil Perbandingan Nilai Threshold untuk Binerisasi Citra Hasil Segmentasi Pembuluh Darah pada image003.png..	145
Tabel A.29 Hasil Perbandingan Nilai Threshold untuk Binerisasi Citra Hasil Segmentasi Pembuluh Darah pada image005.png..	146

Tabel A.30 Hasil Perbandingan Nilai Threshold untuk Binerisasi Citra Hasil Segmentasi Pembuluh Darah pada image008.png.. 147

Tabel A.31 Hasil Perbandingan Nilai Threshold untuk Binerisasi Citra Hasil Segmentasi Pembuluh Darah pada image011.png.. 148

Tabel A.32 Hasil Perbandingan Nilai Threshold untuk Binerisasi Citra Hasil Segmentasi Pembuluh Darah pada image014.png.. 149

Tabel A.33 Hasil Perbandingan Nilai Threshold untuk Binerisasi Citra Hasil Segmentasi Pembuluh Darah pada image020.png.. 150

Tabel A.34 Hasil Perbandingan Nilai Threshold untuk Binerisasi Citra Hasil Segmentasi Pembuluh Darah pada image067.png.. 151

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Citra Green Channel .....	8
Gambar 2.2 (a) Histogram hasil Histogram Equalization, (b) Histogram hasil CLAHE [7].....	10
Gambar 2.3 (a) Citra asli (b) Citra hasil Morphological contrast enhancement [6] .....	12
Gambar 2.4 Structuring Element [10] .....	15
Gambar 2.5 (a) Citra asli sebelum dilasi, (b) Citra hasil dilasi dengan SE $3 \times 3$ , (c) Citra hasil dilasi dengan SE $7 \times 7$ [11]....	17
Gambar 2.6 (a) Citra asli sebelum erosi, (b) Citra hasil erosi dengan ukuran SE $3 \times 3$ , (c) Citra hasil erosi dengan ukuran SE $7 \times 7$ [11] .....	18
Gambar 2.7 Citra A dan SE B [6] .....	19
Gambar 2.8 Translasi B di dalam A [6] .....	19
Gambar 2.9 <i>Opening</i> A oleh B [6] .....	19
Gambar 2.10 Translasi B di luar border A [6].....	20
Gambar 2.11 <i>Closing</i> A oleh B [6].....	20
Gambar 2.12 Ilustrasi <i>Geodesic Dilation</i> [12] .....	22
Gambar 2.13 Ilustrasi <i>Geodesic Erosion</i> [12] .....	23
Gambar 2.14 Ilustrasi <i>Morphological Reconstruction</i> , (a) Citra asli ( <i>mask</i> ), (b) Citra <i>marker</i> , (c) Proses <i>Morphological Reconstruction</i> setelah diiterasi 100 kali [6] .....	24
Gambar 2.15 Ilustrasi <i>Morphological Reconstruction</i> , (a) proses rekonstruksi setelah diiterasi 200 kali, (b) proses rekonstruksi setelah diiterasi 300 kali, (c) Citra hasil akhir rekonstruksi [6]...	24
Gambar 2.16 Matriks a sebagai matriks awal [13].....	25
Gambar 2.17 Matriks b sebagai matriks hasil perhitungan H-minima transform dari matriks a [13].....	26
Gambar 2.18 Matriks A sebagai matriks awal [14].....	27

Gambar 2.19 Matriks B sebagai matriks hasil perhitungan Regional minima dari matriks A [14] .....	27
Gambar 2.20 Ilustrasi Supremum of Openings [6] .....	29
Gambar 3.1 Diagram alir model sistem keseluruhan .....	32
Gambar 3.2 Citra fundus retina mata berwarna sebagai data masukan.....	33
Gambar 3.3 Citra akhir hasil segmentasi lesi merah .....	36
Gambar 3.4 Diagram alir tahap <i>preprocessing</i> .....	37
Gambar 3.5 Diagram alir proses CLAHE .....	39
Gambar 3.6 Diagram alir tahap segmentasi .....	40
Gambar 3.7 Diagram alir proses <i>Alternating sequential filter</i> ....	42
Gambar 3.8 Diagram alir proses <i>Morphological Contrast Enhancement</i> .....	47
Gambar 3.9 Diagram alir proses <i>Supremum of Openings</i> .....	49
Gambar 3.10 Diagram alir tahap perbaikan segmentasi.....	53
Gambar 3.11 Rancangan antar muka perangkat lunak segmentasi lesi merah pada citra fundus retina mata berwarna menggunakan pendekatan metode morfologi.....	55
Gambar 5.1 Citra masukan image010.png untuk skenario pengujian 1 .....	79
Gambar 5.2 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 1 pada image010.png; (a) citra green channel (b) citra <i>groundtruth</i> (c) 1 kali iterasi ASF (d) 2 kali iterasi ASF (e) 3 kali iterasi ASF.....	80
Gambar 5.3 Citra masukan image011.png untuk skenario pengujian 1 .....	81
Gambar 5.4 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 1 pada image011.png; (a) citra green channel (b) citra <i>groundtruth</i> (c) 1 kali iterasi ASF (d) 2 kali iterasi ASF (e) 3 kali iterasi ASF.....	82

Gambar 5.5 Citra masukan image020.png untuk skenario pengujian 2 .....	84
Gambar 5.6 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 2 pada image020.png (bagian 1); (a) citra <i>green channel</i> (b) citra <i>groundtruth</i> (c) hasil segmentasi dengan nilai <i>threshold</i> 0,001 (d) hasil segmentasi dengan nilai <i>threshold</i> 0,003 .....	85
Gambar 5.7 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 2 pada image020.png (bagian 2); (e) hasil segmentasi dengan nilai <i>threshold</i> 0,005 (f) hasil segmentasi dengan nilai <i>threshold</i> 0,007 (g) hasil segmentasi dengan nilai <i>threshold</i> 0,009 .....	86
Gambar 5.8 Citra masukan image022.png untuk skenario pengujian 2 .....	87
Gambar 5.9 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 2 pada image022.png (bagian 1); (a) citra <i>green channel</i> (b) citra <i>groundtruth</i> (c) hasil segmentasi dengan nilai <i>threshold</i> 0,001 (d) hasil segmentasi dengan nilai <i>threshold</i> 0,003 .....	88
Gambar 5.10 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 2 pada image022.png (bagian 2); (e) hasil segmentasi dengan nilai <i>threshold</i> 0,005 (f) hasil segmentasi dengan nilai <i>threshold</i> 0,007 (g) hasil segmentasi dengan nilai <i>threshold</i> 0,009 .....	89
Gambar 5.11 Citra masukan image025.png untuk skenario pengujian 3 .....	91
Gambar 5.12 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 3 pada image025.png (bagian 1); (a) citra <i>green channel</i> (b) citra <i>groundtruth</i> (c) hasil segmentasi dengan ukuran SE 5 (d) hasil segmentasi dengan ukuran SE 10 .....	93
Gambar 5.13 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 3 pada image025.png (bagian 2); (e) hasil segmentasi dengan ukuran SE 15 (f) hasil segmentasi dengan ukuran SE 20 (g) hasil segmentasi dengan ukuran SE 25 .....	94

Gambar 5.14 Citra masukan image064.png untuk skenario pengujian 3 .....	95
Gambar 5.15 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 3 pada image064.png (bagian 1); (a) citra <i>green channel</i> (b) citra <i>groundtruth</i> (c) hasil segmentasi dengan ukuran SE 5 (d) hasil segmentasi dengan ukuran SE 10 .....	96
Gambar 5.16 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 3 pada image064.png (bagian 2); (e) hasil segmentasi dengan ukuran SE 15 (f) hasil segmentasi dengan ukuran SE 20 (g) hasil segmentasi dengan ukuran SE 25 .....	97
Gambar 5.17 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 4 pada image020.png (bagian 1); (a) citra <i>green channel</i> (b) citra <i>groundtruth</i> (c) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 0,5 (d) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 1 100	
Gambar 5.18 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 4 pada image020.png (bagian 2); (e) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 1,5 (f) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 2 (g) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 2,5 (h) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 3.....	101
Gambar 5.19 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 4 pada image025.png (bagian 1); (a) citra <i>green channel</i> (b) citra <i>groundtruth</i> (c) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 0,5 (d) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 1 103	
Gambar 5.20 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 4 pada image025.png (bagian 2); (e) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 1,5 (f) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 2 (g) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 2,5 (h) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 3.....	104
Gambar 5.21 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 5 pada image010.png (bagian 1); (a) citra <i>green channel</i> (b) citra <i>groundtruth</i> (c) hasil segmentasi dengan threshold 0,0001	

(d) hasil segmentasi dengan threshold 0,0005 (e) hasil segmentasi dengan threshold 0,001..... 107

Gambar 5.22 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 5 pada image010.png (bagian 2); (f) hasil segmentasi dengan nilai threshold 0,005 (g) hasil segmentasi dengan nilai threshold 0,01 ..... 108

Gambar 5.23 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 5 pada image022.png (bagian 1); (a) citra *green channel* (b) citra *groundtruth* (c) hasil segmentasi dengan threshold 0,0001 (d) hasil segmentasi dengan threshold 0,0005..... 109

Gambar 5.24 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 5 pada image022.png (bagian 2); (e) hasil segmentasi dengan nilai threshold 0,001 (f) hasil segmentasi dengan nilai threshold 0,005 (g) hasil segmentasi dengan nilai threshold 0,01 ..... 110

## DAFTAR KODE SUMBER

Kode Sumber 4.1 Pembacaan citra masukan awal .....	58
Kode Sumber 4.2 Kode untuk mengubah citra menjadi citra <i>green channel</i> .....	59
Kode Sumber 4.3 Kode untuk perbaikan <i>local contrast</i> .....	60
Kode Sumber 4.4 Kode untuk <i>Alternating sequential filter</i> .....	61
Kode Sumber 4.5 Kode dari fungsi <i>alternatingseqfil.m</i> .....	61
Kode Sumber 4.6 Kode untuk <i>H-minima transform</i> .....	62
Kode Sumber 4.7 Kode untuk deteksi dan eliminasi <i>Fovea</i> .....	62
Kode Sumber 4.8 Kode untuk proses <i>Opening dan Closing</i> .....	63
Kode Sumber 4.9 Kode untuk perbaikan citra pada tahap segmentasi pembuluh darah .....	64
Kode Sumber 4.10 Kode untuk perhitungan <i>Supremum of Openings</i> .....	66
Kode Sumber 4.11 Kode untuk <i>Morphological Reconstruction by Dilation dan thresholding</i> .....	67
Kode Sumber 4.12 Kode untuk eliminasi pembuluh darah.....	68
Kode Sumber 4.13 Kode untuk perbaikan lesi merah pada citra biner.....	69
Kode Sumber 4.14 Kode untuk proses <i>Region properties</i> .....	69
Kode Sumber 4.15 Kode untuk proses <i>Masking</i> .....	70
Kode Sumber 4.16 Kode untuk perhitungan tingkat kebenaran (bagian 1).....	71
Kode Sumber 4.17 Kode untuk perhitungan tingkat kebenaran (bagian 2).....	72
Kode Sumber 4.18 Kode untuk perhitungan tingkat kebenaran (bagian 3).....	72

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Mata merupakan organ penglihatan yang dapat dijadikan media penting dalam mendiagnosa berbagai penyakit. Begitu banyak penyakit yang dapat didiagnosa melalui mata manusia, seperti diabetes, hipertensi, hepatitis, stroke ringan dan lain sebagainya. Mata manusia terdiri dari banyak susunan komponen yang dapat memberikan informasi mengenai kondisi tubuh kita. Salah satu komponen penting pada mata adalah pembuluh darah pada retina mata. Pembuluh darah pada retina mata manusia dapat memberikan informasi mengenai ketidaknormalan dan gangguan pada mata. Salah satu penyakit yang memiliki dampak besar kepada penglihatan manusia antara lain retinopati diabetes.

Retinopati diabetes merupakan kelainan retina akibat dari komplikasi diabetes yang dapat menyebabkan ketidaknormalan dan kebutaan permanen pada mata. Retinopati diabetes dibagi menjadi dua tipe yaitu retinopati diabetes *non proliferasif* dan retinopati diabetes *proliferasif*, dimana retinopati diabetes *non proliferasif* merupakan tahap awal dari penyakit retinopati diabetes [1]. Pada tahap awal penyakit retinopati diabetes dapat ditemukan munculnya lesi merah atau pendarahan merah yang terdiri dari *microaneurysm* dan *hemorrhages* pada retina. *Microaneurysm* muncul karena melemahnya dinding terkecil dari pembuluh darah, sehingga terjadi pembengkakan pada pembuluh darah vena. Jika dilihat melalui hasil foto kamera fundus pada retina, *microaneurysm* umumnya memiliki diameter lebih kecil dari 125  $\mu\text{m}$  [2]. Sedangkan *hemorrhages* merupakan pendarahan pada pembuluh retina. *Hemorrhages* biasanya memiliki bentuk yang lebih besar dari *microaneurysm*.

Diagnosa lebih awal pada penyakit retinopati diabetes sangatlah penting untuk mencegah terjadinya kebutaan permanen pada mata. Pendeteksian manual terhadap *microaneurysm* dan *hemorrhages* oleh para ahli mata atau *ophthalmologists* cukup sulit dilakukan karena penampakan atribut pada citra fundus retina mata cukup kompleks. Sehingga adanya sistem yang dapat secara otomatis dan akurat dalam mensegmentasi *microaneurysm* dan *hemorrhages* atau pendarah pada citra retina sangatlah berguna.

Dalam tugas akhir ini, akan diimplementasikan segmentasi lesi merah pada citra fundus retina mata berwarna menggunakan pendekatan metode morfologi. Metode ini dirancang agar dapat mengeliminasi komponen retina dengan kontras rendah seperti *fovea* dan pembuluh darah maupun komponen retina dengan kontras tinggi seperti *exudates* dan *optic disk*. Dengan menggunakan pendekatan metode morfologi, diharapkan dapat melakukan proses segmentasi lesi merah secara optimal.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang diangkat dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana memahami metodologi segmentasi citra berdasarkan metode morfologi?
2. Bagaimana mengaplikasikan metode matematika morfologi untuk proses segmentasi lesi merah (*hemorrhages* dan *microaneurysms*)?
3. Bagaimana mengidentifikasi parameter-parameter yang dapat mempengaruhi hasil segmentasi citra dengan menggunakan metode matematika morfologi?
4. Berapa tingkat kebenaran yang dihasilkan dari hasil segmentasi lesi merah (*hemorrhages* dan *microaneurysms*) dengan menggunakan metode matematika morfologi?

### 1.3 Batasan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini memiliki beberapa batasan, diantaranya sebagai berikut:

1. Implementasi dilakukan dengan menggunakan Matlab 8.1.0.
2. Citra masukan yang akan disegmentasi merupakan citra fundus retina berwarna yang berasal dari dataset DIARETDB1. Dengan ukuran asli 1500 x 1152 piksel, yang diambil dengan 50 derajat kamera fundus.
3. Segmentasi lesi merah pada citra fundus retina mata berwarna dilakukan dengan mengimplementasikan pendekatan metode matematika morfologi.

### 1.4 Tujuan

Tugas Akhir ini memiliki beberapa tujuan yang rinciannya adalah sebagai berikut:

1. Mengimplementasikan metode matematika morfologi untuk melakukan segmentasi lesi merah (*microaneurysm* dan *hemorrhages*) pada citra fundus retina mata berwarna.
2. Merancang dan membangun sistem otomatis yang memudahkan para ahli mata atau *ophthalmologists* dalam melakukan deteksi lesi merah (*microaneurysm* dan *hemorrhages*) pada citra fundus retina mata berwarna.
3. Mengetahui kinerja metode morfologi dalam melakukan segmentasi lesi merah pada dataset DIARETDB1.

### 1.5 Metodologi

Tahap yang dilakukan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Penyusunan proposal tugas akhir

Penulisan proposal ini merupakan tahap awal dalam pengerjaan Tugas Akhir. Pada proposal ini, penulis

mengajukan gagasan segmentasi citra berwarna menggunakan metode morfologi.

## **2. Studi literatur**

Pada tahap ini dilakukan pencarian informasi dan studi literatur yang untuk pengumpulan data dan desain aplikasi yang akan dibuat. Informasi didapatkan dari buku dan literatur lain yang berhubungan dengan algoritma yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini yaitu diantaranya studi literatur mengenai metode morfologi pada pengolahan citra dan studi literatur mengenai segmentasi pada citra fundus retina mata berwarna.

## **3. Implementasi**

Tahap ini merupakan tahap penerapan dasar teori dalam segmentasi lesi merah pada citra fundus retina mata berwarna. Pada tahap ini dilakukan implementasi pendekatan matematika morfologi dari rancangan materi-materi yang telah didapatkan sebelumnya. Implementasi ini dilakukan menggunakan MATLAB.

## **4. Uji Coba dan evaluasi**

Tahap ini merupakan tahap uji coba aplikasi dan evaluasi data keluaran. Tahap uji coba dilakukan dengan membandingkan nilai parameter yang digunakan pada proses. Tahap evaluasi dilakukan dengan menghitung tingkat homogenitas dari data keluaran.

## **5. Penyusunan Buku Tugas Akhir**

Tahap ini merupakan tahap dokumentasi dari Tugas Akhir. Buku Tugas Akhir berisi dasar teori, perancangan, implementasi dan hasil uji coba dan evaluasi dari aplikasi yang dibangun.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Buku Tugas Akhir ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

1. Bab I. Pendahuluan

Bab pendahuluan berisi penjelasan mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan Tugas Akhir.

2. Bab II. Tinjauan Pustaka

Bab tinjauan pustakan berisi penjelasan mengenai dasar teori yang mendukung pengerjaan Tugas Akhir.

3. Bab III. Analisis dan Perancangan

Bab analisis dan perancangan berisi penjelasan mengenai analisis kebutuhan, perancangan sistem dan perangkat yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir serta urutan pelaksanaan proses.

4. Bab IV. Implementasi

Bab implementasi berisi pembangunan aplikasi segmentasi lesi merah pada citra fundus retina mata berwarna menggunakan bahasa pemrograman Matlab sesuai dengan rumusan dan batasan yang sudah dijelaskan pada bagian pendahuluan.

5. Bab V. Uji Coba dan Evaluasi

Bab uji coba dan evaluasi berisi pembahasan mengenai hasil dari uji coba yang dilakukan terhadap aplikasi segmentasi lesi merah pada citra fundus retina mata berwarna.

6. Bab VI. Kesimpulan dan Saran

Bab kesimpulan dan saran berisi kesimpulan hasil penelitian. Selain itu, bagian ini berisi saran untuk pengerjaan lebih lanjut atau permasalahan yang dialami dalam proses pengerjaan Tugas Akhir.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Bab tinjauan pustaka berisi penjelasan teori yang berkaitan dengan implementasi perangkat lunak. Penjelasan tersebut bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai sistem yang akan dibangun dan berguna sebagai penunjang dalam pengembangan perangkat lunak.

#### **2.1 Pengolahan Citra**

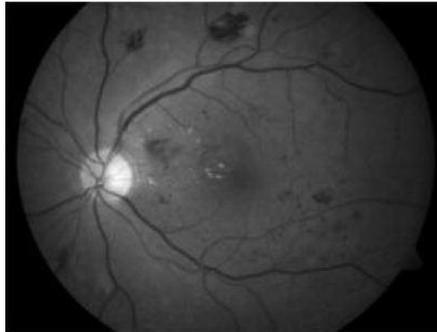
Pengolahan citra merupakan proses pengolahan piksel piksel pada satu citra digital yang bertujuan untuk memanipulasi dan menganalisa citra dengan bantuan komputer [3]. Pengolahan citra bertujuan untuk memperbaiki kualitas citra agar lebih mudah diinterpretasikan oleh manusia atau mesin. Proses pengolahan citra terdiri dari beberapa jenis operasi yang dapat diklasifikasikan sebagai berikut : perbaikan kualitas citra (*image enhancement*), pemugaran citra (*image restoration*), pemampatan citra (*image compression*), segmentasi citra dan rekonstruksi citra. Dasar pengolahan citra yang akan dijelaskan meliputi proses ekstraksi *green channel* pada citra fundus retina mata berwarna, proses perbaikan citra, segmentasi citra dan metode morfologi dalam pengolahan citra.

##### **2.1.1 Citra *Green Channel***

Dalam dunia digital, terdapat sejumlah warna primer yang membentuk sebuah citra. *Channel* merupakan istilah yang lazim digunakan untuk menyebut komponen tertentu dalam sebuah citra. Sebuah citra RGB mempunyai tiga *channel* yaitu: *Red*, *Green* dan *Blue*. RGB *channel* mengikuti reseptor warna pada mata manusia dan biasa digunakan dalam menampilkan gambar pada komputer dan *scanner* [4]. Tiap *channel* pada ruang warna RGB memiliki tingkat saturasi yang berbeda beda. Saturasi warna ditentukan oleh

kombinasi intensitas cahaya dan berapa banyak cahaya yang didistribusikan di seluruh spektrum panjang gelombang yang berbeda.

*Green channel* pada citra fundus retina mata berwarna pada umumnya digunakan dalam proses *preprocessing* karena *Green channel* memiliki komposisi saturasi yang tepat. Sifat refleksi dari permukaan mata menyebabkan Red channel dari foto fundus terkadang mengalami saturasi yang terlalu berlebih (*oversaturated*) terutama di daerah pusat dan saraf optik. Sedangkan *blue channel* dapat mengalami saturasi yang terlalu rendah (*undersaturated*) sehingga menyebabkan banyak terdapat derau atau *noise* [5]. Gambar 2.1 merupakan contoh citra Green channel pada citra fundus retina mata.



**Gambar 2.1 Citra Green Channel**

### **2.1.2 Perbaikan Citra**

Perbaikan citra merupakan proses perbaikan kualitas suatu citra, sehingga dapat lebih mudah diinterpretasikan oleh mata manusia. Perbaikan citra yang akan dijelaskan meliputi peningkatan kontras citra dengan *Contast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)*, *2D Gaussian low pass filter* dan *Morphological contrast enhancement*.

### 2.1.2.1 *Contast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)*

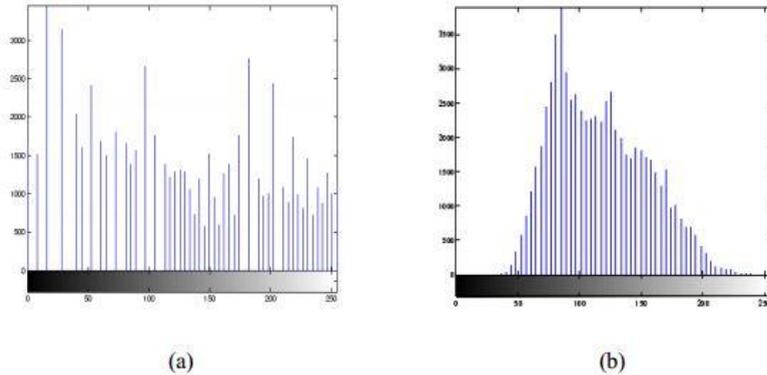
CLAHE merupakan teknik perbaikan citra yang digunakan untuk memperbaiki kontras pada citra. CLAHE merupakan generalisasi dari *Adaptive Histogram Equalization* (AHE). Permasalahan peningkatan kontras berlebih pada AHE dapat diatasi dengan menggunakan CLAHE, yaitu dengan memberikan nilai batasan pada histogram. Nilai batas ini disebut juga dengan *clip limit*. *Clip limit* pada CLAHE menyatakan batas maksimum nilai tertinggi satu histogram. Cara menghitung *clip limit* satu histogram dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\beta = \frac{M}{N} \left( 1 + \frac{\alpha}{100} (s_{max} - 1) \right) \quad (2.1)$$

Variabel  $M$  menyatakan luas *region size*,  $N$  menyatakan nilai *grayscale* dan  $\alpha$  merupakan *clip factor* yang menyatakan penambahan batas limit suatu histogram yang bernilai antara 0 sampai 1. Histogram dengan nilai diatas nilai *clip limit* yang telah ditentukan dianggap memiliki kelebihan piksel yang akan didistribusikan kepada area sekitar yang memiliki nilai histogram di bawah nilai *clip limit* sehingga nilai histogram citra keseluruhan merata.

Berbeda dengan *Histogram Equalization* yang beroperasi pada keseluruhan region pada citra, CLAHE beroperasi pada region kecil yang disebut dengan *tile*. CLAHE menggabungkan tile tetangga menggunakan interpolasi bilinear untuk menghilangkan batas-batas artifisial. CLAHE juga dapat digunakan untuk menghindari derau yang ada pada citra dengan membatasi kontras pada daerah homogen. Citra yang menggunakan CLAHE memiliki derau yang cenderung sedikit dan terhindar dari adanya saturasi kecerahan yang biasa terjadi jika menggunakan *Histogram*

*Equalization*. Gambar 2.2 membandingkan histogram hasil dari *Histogram Equalization* dan CLAHE dari citra yang sama. CLAHE menghasilkan output citra yang memiliki nilai merata di seluruh bagian citra [6].



**Gambar 2.2 (a) Histogram hasil Histogram Equalization, (b) Histogram hasil CLAHE [7]**

### 2.1.2.2 2D Gaussian Low Pass Filter

*Low pas filter* merupakan salah satu *filter* yang digunakan untuk proses perbaikan pada citra digital. *Low pass* juga dikenal sebagai proses *smoothing* pada citra untuk menghilangkan *noise* yang mempunyai frekuensi spasial tinggi. *Gaussian filter* menerapkan fungsi *gaussian* yang menunjukkan distribusi normal dalam statistik untuk menghitung transformasi yang digunakan dalam tiap piksel pada sebuah citra. Persamaan 2.1 merupakan fungsi untuk perhitungan *gaussian* 1D

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (2.2)$$

Sedangkan untuk proses *smoothing* pada citra digunakan gaussian 2D dengan fungsi pada persamaan 2.2.

$$G(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2.3)$$

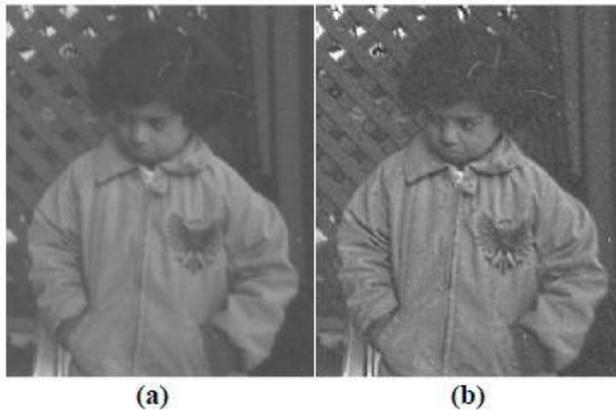
Dimana  $\sigma$  merupakan standar deviasi dari distribusi gaussian. Gaussian 2D merupakan hasil perkalian 2 fungsi gaussian, dengan satu fungsi untuk tiap arahnya. Pada persamaan 2.2,  $x$  merupakan jarak dari titik asal sumbu horizontal dan  $y$  merupakan jarak dari titik asal sumbu vertikal. Formula tersebut menghasilkan bentuk grafik 2D yang konturnya merupakan lingkaran konsentrasi dengan distribusi *gaussian* dari titik pusat. Sehingga didapatkan kernel yang akan digunakan dalam proses konvolusi. Pusat kernel memiliki nilai tetinggi. Semakin menjauhi titik pusat maka nilainya akan semakin mengecil.

### 2.1.2.3 *Morphological Contrast Enhancement*

*Morphological contrast enhancement* merupakan metode perbaikan citra dengan menggunakan matematika morfologi. Dalam metode ini digunakan dua metode morfologi yaitu *Top-Hat Transform* dan *Bottom-Hat Transform* kedua metode ini akan dijelaskan lebih lanjut pada subbab 2.3.

*Morphological contrast enhancement* dapat meningkatkan kontras pada citra. *Top-Hat Transform* pada metode perbaikan citra ini akan mencerahkan objek dengan intensitas warna yang terang sedangkan *Bottom-Hat Transform* akan menggelapkan objek dengan intensitas warna yang gelap. Tujuan dari penggunaan metode perbaikan citra ini adalah untuk menghilangkan iluminasi pada citra yang biasanya sering muncul pada citra fundus retina mata berwarna. Gambar 2.3 merupakan perbandingan citra asli dengan citra hasil *Morphological contrast enhancement*. Gambar 2.3(a) merupakan citra *grayscale* yang

terlihat kurang, sedangkan gambar 2.3(b) merupakan citra hasil perbaikan kontras dengan *Morphological contrast enhancement* sehingga citra terlihat lebih jelas.



**Gambar 2.3 (a) Citra asli (b) Citra hasil Morphological contrast enhancement [6]**

### 2.1.3 Segmentasi Citra

Segmentasi citra merupakan proses pengolahan citra yang bertujuan mengenali objek yang terdapat pada citra. Segmentasi citra mengelompokkan citra menjadi bagian-bagian yang homogen. Pengelompokan tersebut dilakukan berdasarkan kesamaan nilai fitur dari citra.

Tujuan dari segmentasi citra adalah untuk menyederhanakan atau mengubah representasi gambar menjadi sesuatu yang lebih bermakna dan lebih mudah untuk dianalisis. Segmentasi biasanya digunakan untuk menemukan objek dan batas-batas dalam gambar. Lebih tepatnya, segmentasi citra adalah proses untuk menempatkan label untuk setiap piksel dalam gambar sehingga piksel dengan label yang sama saling berbagi karakteristik visual tertentu. Hasil dari segmentasi citra adalah seperangkat segmen

yang secara kolektif mencakup keseluruhan dari gambar. Setiap piksel dalam suatu daerah yang sama memiliki hubungan dengan beberapa properti karakteristik seperti warna, intensitas atau tekstur.

### 2.1.3.1 Thresholding

*Thresholding* merupakan sebuah metode sederhana yang dapat digunakan untuk segmentasi citra berdasarkan pada nilai intensitas piksel. Nilai intensitas piksel pada citra dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok *non-overlapping* yaitu objek dan *background* berdasarkan pada nilai *threshold* pada histogram. Selama proses *thresholding*, sebuah piksel dinyatakan sebagai objek apabila nilainya lebih besar daripada suatu nilai *threshold* dan ditandai sebagai background apabila nilainya lebih kecil daripada satu nilai *threshold* tertentu. Citra hasil dari metode *thresholding* akan berbentuk citra biner yang memiliki nilai 0 untuk hitam dan 1 untuk putih. *Thresholding* citra sangat berguna untuk menjaga bagian penting dari satu objek dan menyingkirkan derau atau bagian yang bukan merupakan objek yang akan disegmentasi. *Thresholding* pada sistem ini menggunakan metode *global thresholding* karena memiliki nilai  $T$  yang konstan. Proses binerisasi citra didefinisikan dengan fungsi sebagai berikut:

$$G(x, y) = 1, \text{ jika } f(x, y) > T \quad (2.4)$$

$$0, \text{ jika } f(x, y) \leq T \quad (2.5)$$

Penentuan nilai *threshold* merupakan faktor yang penting dalam penentuan hasil dari *thresholding*. Salah satu metode yang sederhana untuk menentukan nilai *threshold* antarlain dengan memilih nilai rata-rata atau nilai median dari keseluruhan nilai piksel. Metode lain adalah dengan menggunakan histogram intensitas warna citra, Dimana nilai *threshold*-nya akan dicari dari

titik yang paling rendah atau lembah dari histogram tersebut. Salah satu cara untuk memperbaiki kualitas *thresholding* adalah dengan melakukan *background subtraction* sebelum melakukan proses *thresholding*. Hal ini dapat membantu dalam proses pengolahan gambar, terutama bila background yang ada cukup statis. Meski cara ini cepat dan mudah untuk diimplementasikan, dalam penggunaannya metode ini dapat menimbulkan noise yang tidak diinginkan dan sensitif terhadap cahaya [6].

#### **2.1.4 Operasi Morfologi**

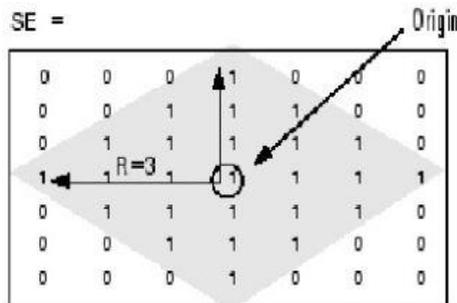
Operasi morfologi memiliki peranan yang penting dalam pengolahan citra digital. Prinsip aplikasi dari morfologi adalah mengekstrak komponen-komponen citra yang berguna dalam representasi dan deskripsi bentuk. Pembahasan mengenai operasi morfologi pada citra meliputi dasar-dasar matematika morfologi seperti *Structuring Element*, Dilasi, Erosi, *Opening*, *Closing*, *Morphological Reconstruction*, *Top-Hat Transformation*, *Bottom-Hat Transformation*, *Supremum of Openings* dan *filling*.

##### **2.1.4.1 Matematika Morfologi**

Matematika morfologi adalah sebuah teori dan teknik untuk analisa pada pengolahan struktur geometris berdasarkan teori himpunan, teori kisi, topologi dan fungsi acak. Matematika morfologi seringkali diterapkan pada citra digital namun dapat juga digunakan pada grafik dan struktur spasial lainnya. Bahasa dari matematika morfologi adalah sebuah teori himpunan. Himpunan dalam matematika morfologi merepresentasikan objek dalam sebuah citra. Matematika morfologi mendeskripsikan suatu aplikasi operator aljabar, yang dapat digunakan untuk mengambil suatu daerah, bentuk dan batas pada gambar [7].

### 2.1.4.1.1 Structuring Element

Pada operasi morfologi, *Structuring element* (SE) merupakan bentuk yang digunakan untuk memeriksa atau berinteraksi dengan citra masukan yang akan di proses. SE merupakan satu matriks yang hanya berisi dua nilai yaitu 1 dan 0 yang disusun sedemikian rupa sehingga membentuk satu formasi dan ukuran. Pixel bernilai 1 pada SE biasa disebut dengan *neighborhood*. SE dua dimensi memiliki ukuran yang biasanya jauh lebih kecil dibandingkan dengan citra masukan. Pixel pada bagian tengah dari SE bisa disebut *origin*, *origin* mengidentifikasi pixel yang menjadi inti perhatian [9].



**Gambar 2.4 Structuring Element [10]**

Pada Gambar 2.4 dapat dilihat contoh dari SE. Bagian yang dilingkari menunjukkan *origin* dari SE, sedangkan bagian yang berwarna abu-abu menunjukkan bagian dari *neighborhood*. SE biasanya digunakan dalam operasi morfologi seperti dilasi, erosi, *opening*, *closing*, *Bottom-Hat Transformation* dan *Top-Hat Transformation*. Suatu SE memiliki beragam bentuk dan ukuran. Bentuk SE dapat berupa *ball*, *line*, *convex*, *ring*, *disk*, *square*, *rectangle*, *octagon*, *diamond* dan lain sebagainya. Ukuran SE juga beragam contohnya, dapat berukuran 3×3 atau 10×10 tergantung bentuk SE yang digunakan.

### 2.1.4.1.2 Dilasi

Dilasi merupakan proses yang menebalkan objek pada citra biner. Proses ini dikontrol oleh SE. Dalam operasi dilasi, citra asli akan mengalami pelebaran dengan mengikuti bentuk SE yang digunakan. dalam matematika morfologi, sebuah citra biner dilihat sebagai subset dari ruang *euclidean*  $R^d$  atau grid integer  $Z^d$ , untuk beberapa dimensi  $d$ . Jika  $E$  merupakan ruang *euclidean* atau sebuah grid integer,  $A$  adalah sebuah citra dalam ruang  $E$  dan  $B$  adalah SE. Dilasi  $A$  oleh  $B$  didefinisikan seperti pada persamaan 2.6.

$$A \oplus B = \bigcup_{b \in B} A_b \quad (2.6)$$

Operasi dilasi merupakan operasi komutatif, sehingga dapat didefinisikan juga seperti persamaan 2.7 [6].

$$A \oplus B = B \oplus A = \bigcup_{a \in A} B_a \quad (2.7)$$

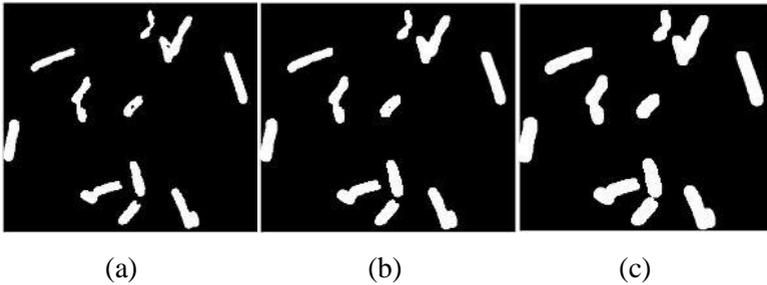
Dengan  $A$  dan  $B$  yang merupakan bagian dari grid integer  $Z^2$ , dilasi  $A$  oleh  $B$ , dinotasikan dengan  $A \oplus B$  dan dapat diperoleh persamaan 2.8 [6].

$$A \oplus B = \{z | (\widehat{B})_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (2.8)$$

Dilasi  $A$  oleh  $B$  merupakan satu himpunan dari semua pemindahan oleh  $Z$ , sehingga  $B$  dan  $A$  beririsan oleh minimal satu elemen [6]. Berdasarkan interpretasi ini, persamaan 2.9 dapat ditulis sebagai berikut:

$$A \oplus B = \{z | [(\widehat{B})_z \cap A] \subseteq A\} \quad (2.9)$$

Berikut ini gambar 2.5 menunjukkan contoh citra original sebelum dilasi dan setelah dilakukan dilasi:



**Gambar 2.5 (a) Citra asli sebelum dilasi, (b) Citra hasil dilasi dengan SE  $3 \times 3$ , (c) Citra hasil dilasi dengan SE  $7 \times 7$  [11]**

Pada gambar 2.5(b) dapat dilihat citra hasil setelah dilakukan dilasi dengan SE  $3 \times 3$  mengalami penebalan jika dibandingkan dengan citra asli sebelum dilasi. Begitu pula pada gambar 2.5(c) ukuran dan bentuk SE mempengaruhi hasil citra setelah dilakukan dilasi. Semakin besar ukuran SE, maka objek yang didilasi akan menjadi semakin tebal. Oleh karena itu, dilasi dapat digunakan untuk memperbaiki citra yang rusak. Selain itu, bagian objek citra yang terputus juga dapat disambungkan dengan menggunakan operasi dilasi .

#### 2.1.4.1.3 Erosi

Erosi merupakan proses penipisan atau penyusutan objek pada citra biner. Seperti pada operasi dilasi, penipisan atau penyusutan dikontrol oleh structuring element. Erosi A oleh B didefinisikan oleh persamaan 2.10.

$$A \ominus B = \{z \in E | B_z \subseteq A\} \quad (2.10)$$

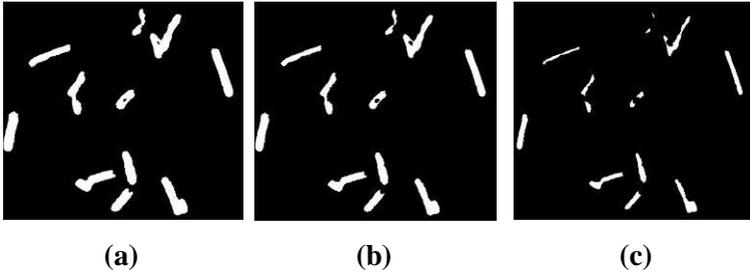
Dimana  $B_z$  adalah translasi dari B oleh vektor z, sehingga persamaannya akan menjadi seperti pada persamaan 2.11.

$$B_z = \{b + z | b \in B\}, \forall z \in E \quad (2.11)$$

Erosi A oleh B dapat didefinisikan juga dengan persamaan 2.12.

$$A \ominus B = \{z | (B)_z \cap A^c \neq \emptyset\} \quad (2.12)$$

Ilustrasi penggunaan operasi erosi dapat dilihat gambar 2.6 berikut:



**Gambar 2.6 (a) Citra asli sebelum erosi, (b) Citra hasil erosi dengan ukuran SE  $3 \times 3$ , (c) Citra hasil erosi dengan ukuran SE  $7 \times 7$  [11]**

Pada gambar 2.6(b) dapat dilihat citra hasil setelah dilakukan erosi dengan SE  $3 \times 3$  mengalami penipisan jika dibandingkan dengan citra asli sebelum erosi. Begitu pula pada gambar 2.5(c) ukuran dan bentuk SE mempengaruhi hasil citra setelah dilakukan erosi. Semakin besar ukuran SE, maka objek yang dierosi akan menjadi semakin tipis [6].

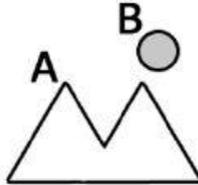
#### 2.1.4.1.4 Opening

Operasi *Opening* berguna untuk menghaluskan kontur dari sebuah objek, memutuskan garis tipis yang menghubungkan dua region besar dan menghilangkan tonjolan tipis. Misalkan terdapat citra  $A$  dan SE  $B$ , maka opening  $A$  oleh  $B$  dapat dinyatakan dengan notasi  $A \circ B$  didefinisikan pada persamaan 2.13:

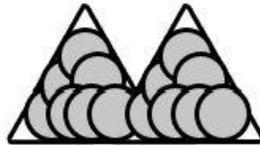
$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (2.13)$$

Dari persamaan 2.13 dapat dikatakan bahwa *opening*  $A$  oleh  $B$  adalah erosi  $A$  oleh  $B$  yang diikuti dengan dilasi hasil erosi oleh  $B$ .

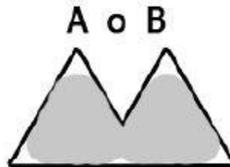
Berikut ini gambar 2.7 merupakan contoh interpretasi geometris sederhana untuk operasi *opening*:



Gambar 2.7 Citra A dan SE B [6]



Gambar 2.8 Translasi B di dalam A [6]



Gambar 2.9 *Opening* A oleh B [6]

Misalkan terdapat SE B berbentuk lingkaran seperti pada gambar 2.7. B menentukan batas dari A dan mengisi kekosongan pada A seperti pada gambar 2.8. sehingga B memenuhi semua ruang A. Properti *fitting* geometris seperti ini dalam operasi *opening* mengarah ke formula set teori yang menyatakan, *opening* A oleh B didapatkan dari mengambil semua union dari semua translasi B yang memenuhi A seperti pada gambar 2.9 [6].

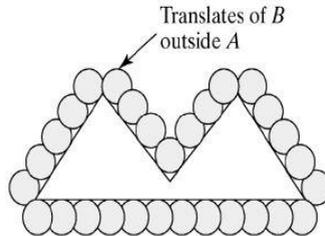
#### 2.1.4.1.5 Closing

Operasi *Closing* digunakan untuk menghaluskan bagian dari kontur. *Closing* biasanya digunakan untuk menyatukan bagian kecil yang terputus dan menyatukan cekungan yang

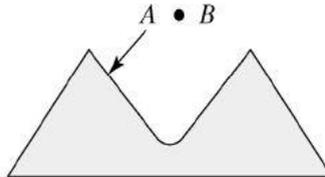
panjang dan tipis. *Closing* juga digunakan untuk menghilangkan lubang kecil dan mengisi celah yang terdapat pada kontur. Operasi *closing* dari himpunan  $A$  oleh  $SE\ B$  dinotasikan dengan  $A \bullet B$ , didefinisikan pada persamaan 2.14:

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (2.14)$$

Dari persamaan 2.14 dapat dikatakan bahwa *closing*  $A$  oleh  $B$  merupakan proses dilasi  $A$  oleh  $B$  yang kemudian diikuti oleh erosi hasil dilasi oleh  $B$ . Berikut ini gambar 2.10 merupakan contoh interpretasi geometris sederhana untuk operasi *closing*:



**Gambar 2.10 Translasi B di luar border A [6]**



**Gambar 2.11 Closing A oleh B [6]**

Terdapat  $SE$  dengan bentuk lingkaran seperti pada gambar 2.7. proses *closing* dilakukan dengan menentukan batasan border luar dari  $A$  dan memenuhi border  $A$  dengan  $SE\ B$  seperti pada gambar 2.10.  $A \bullet B$  merupakan komplement dari union dari seluruh translasi oleh  $B$  yang tidak *overlap* dengan  $A$  seperti pada gambar 2.11 [6].

### 2.1.4.2 Morphological Reconstruction

*Morphological reconstruction* merupakan bagian dari satu set operasi citra yang disebut *geodesic*. Dalam kasus biner, rekonstruksi mengekstraksi komponen terhubung dari citra biner *mask* yang ditandai oleh citra biner *marker*. *Morphological reconstruction* melibatkan dua citra dan satu SE. Citra *marker* merupakan titik awal untuk melakukan transformasi sedangkan citra *mask* digunakan untuk membatasi transformasi. SE pada proses ini digunakan untuk mendefinisikan konduktivitas dalam transformasi [6].

#### 2.1.4.2.1 Godesic Dilation dan Geodesic Erosion

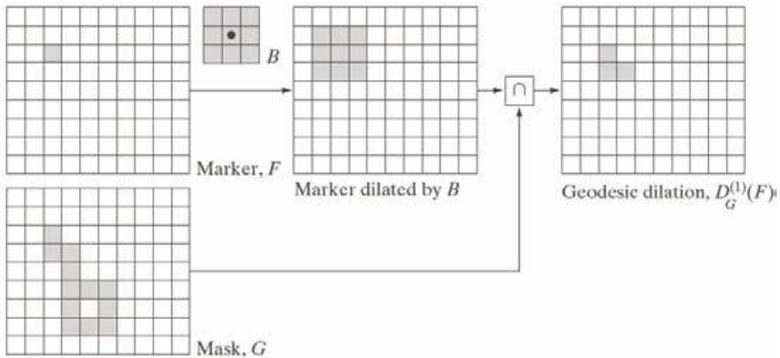
*Geodesic dilation* dan *Geodesic erosion* merupakan bagian inti dari proses *Morphological reconstruction*. Diasumsikan terdapat dua citra biner, Dimana citra F merupakan *marker* dan citra G merupakan *mask*. Kedua citra F dan G merupakan citra biner dengan  $F \subseteq G$ . *Geodesic dilation* dari citra *mask* dan citra *marker* yang berukuran 1 dinotasikan dengan  $D_G^{(1)}(F)$  dan SE B didefinisikan seperti pada persamaan 2.15:

$$D_G^{(1)}(F) = (F \oplus B) \cap G \quad (2.15)$$

Dimana  $\cap$  melambangkan himpunan irisan. *Geodesic dilation* dari citra marker F berukuran  $n$  dan citra *mask* G didefinisikan pada persamaan 2.16:

$$D_G^{(n)}(F) = D_G^{(1)}[D_G^{(n-1)}(F)] \quad (2.16)$$

Dalam operasi rekursif ini, citra *mask* G akan membatasi pertumbuhan (dilasi) dari citra *marker* F [6]. Gambar 2.12 Menunjukkan contoh dari *Geodesic dilation*:



**Gambar 2.12 Ilustrasi Geodesic Dilation [12]**

Pada gambar 2.12 terdapat citra *mask*  $G$ , citra *marker*  $F$  dan SE  $B$ . Proses pertama adalah dilakukan dilasi pada citra  $F$  sesuai dengan SE  $B$ . Kemudian dari hasil dilasi tersebut akan dicari irisan antara dilasi dari citra *marker* dan citra *mask*. Sehingga akan didapatkan hasil *Geodesic dilation* citra  $F$  terhadap citra  $G$ .

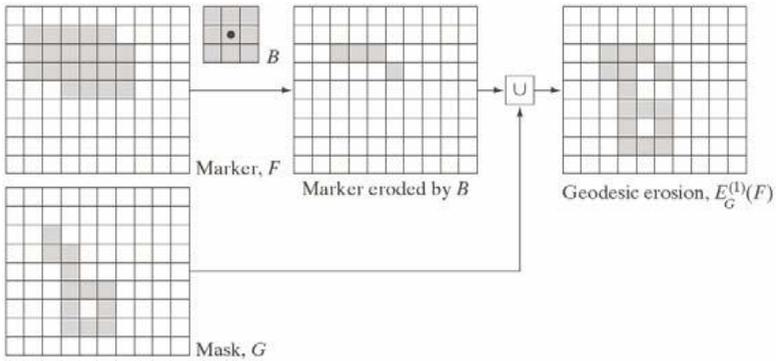
Sama halnya dengan *Geodesic dilation*, *Geodesic erosion* dengan citra *marker*  $F$  berukuran 1 dan citra *mask*  $G$  didefinisikan seperti pada persamaan 2.17:

$$E_{(G)}^{(1)}(F) = (F \ominus B) \cup G \quad (2.17)$$

Dimana  $\cup$  mendefinisikan himpunan gabungan. *Geodesic erosion* dari citra *marker* berukuran  $n$  dan citra *mask*  $G$  didefinisikan pada persamaan 2.18:

$$E_G^{(n)}(F) = E_G^{(1)}[E_G^{(n-1)}(F)] \quad (2.18)$$

Dalam operasi rekursif ini, dapat disimpulkan bahwa *Geodesic erosion* dari citra tetap lebih besar atau sama dengan citra *mask*-nya [6]. Gambar 2.13 Menunjukkan contoh dari *Geodesic erosion*:



**Gambar 2.13 Ilustrasi Geodesic Erosion [12]**

Gambar 2.13 menunjukkan contoh dari *Geodesic erosion*. Terdapat citra *mask*  $G$ , *marker*  $F$  dan SE  $B$ . Proses pertama adalah dilakukan erosi pada citra  $F$  sesuai dengan SE  $B$ , kemudian akan dicari gabungan antara hasil erosi dari citra *marker* dan citra *mask* sehingga didapat hasil *Geodesic erosion* terhadap citra  $G$ .

#### 2.1.4.2.2 Reconstruction by Dilation

Seperti pada konsep *geodesic*, *Morphological reconstruction by dilation* dari citra *mask*  $G$  dan citra *marker*  $F$  dinotasikan dengan  $R_G^D(F)$ , diiterasi sampai mencapai stabilitasnya sehingga dapat didefinisikan seperti pada persamaan 2.19:

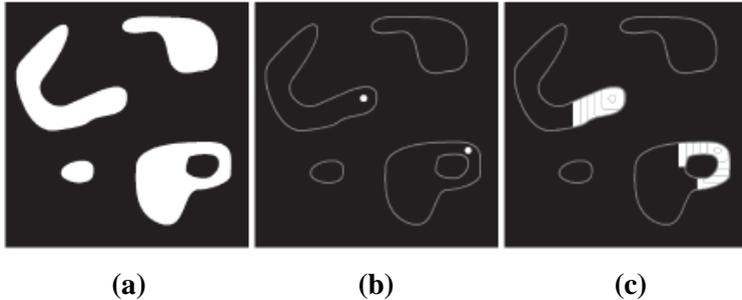
$$D_G^{(k)}(F) = D_G^{(k+1)}(F) \quad (2.19)$$

#### 2.1.4.2.3 Reconstruction by Erosion

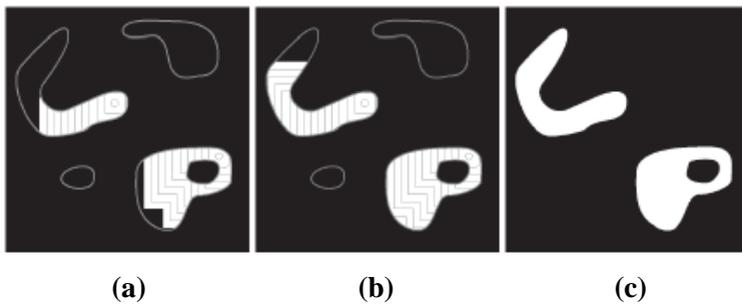
*Morphological reconstruction by erosion* dari citra *mask*  $G$  dan citra *marker*  $F$  dinotasikan dengan  $R_G^E(F)$ , diiterasi sampai mencapai stabilitasnya, sehingga dapat didefinisikan seperti pada persamaan 2.20:

$$E_G^{(k)}(F) = E_G^{k+1}(F) \quad (2.20)$$

Gambar 2.14 dan 2.15 merupakan ilustrasi dari contoh *Morphological reconstruction* dengan berbagai iterasi.



**Gambar 2.14 Ilustrasi *Morphological Reconstruction*, (a) Citra asli (*mask*), (b) Citra *marker*, (c) Proses *Morphological Reconstruction* setelah diiterasi 100 kali [6]**



**Gambar 2.15 Ilustrasi *Morphological Reconstruction*, (a) proses rekonstruksi setelah diiterasi 200 kali, (b) proses rekonstruksi setelah diiterasi 300 kali, (c) Citra hasil akhir rekonstruksi [6]**

#### 2.1.4.2.4 H-Minima Transform

*H-minima transform* merupakan metode matematika morfologi yang digunakan untuk menekan suatu nilai pada *connected components* yang kurang dari *threshold* yang telah ditentukan. *H-minima transform* mencari selisih piksel yang memiliki nilai kurang dari *threshold* pada kumpulan piksel dengan

nilai yang lebih rendah (*connected component*) dan mengganti nilai tersebut dengan nilai piksel tetangga apabila *connected component* tersebut memiliki nilai selisih yang kurang dari nilai *threshold* dan menambahkan nilai *connected component* dengan nilai *threshold* apabila nilai selisih lebih dari nilai *threshold* yang ditentukan. Pada gambar 2.16 dan gambar 2.17 dapat dilihat proses kerja metode *H-minima transform*. Gambar 2.16 menunjukkan matriks yang berisi nilai piksel awal, dapat dilihat terdapat *connected component* bernilai 2 dan 7 yang dikelilingi piksel bernilai 10. Gambar 2.17 merupakan hasil perhitungan menggunakan *H-minima transform* yang diimplementasikan pada matriks a. Diberikan *threshold* 4 pada matriks a. Maka dapat dilihat pada gambar 2.17 untuk *connected component* bernilai 7, memiliki selisih dengan piksel diluar *connected component* kurang dari nilai *threshold* yang ditentukan. Oleh karena itu *connected component* bernilai 7 dihilangkan dan nilainya diganti menjadi 10. Sedangkan untuk *connected component* bernilai 2 memiliki selisih dengan piksel diluar *connected component* melebihi nilai *threshold*. Oleh karena itu *connected component* bernilai 2 ditambahkan nilainya dengan nilai *threshold*, sehingga pada matriks b *connected component* bernilai 2 diganti menjadi 6.

a =

10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	7	7	7	10	10	10	10	10	10
10	7	7	7	10	10	10	10	10	10
10	7	7	7	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	2	2	2	10	10
10	10	10	10	10	2	2	2	10	10
10	10	10	10	10	2	2	2	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

**Gambar 2.16** Matriks a sebagai matriks awal [13]

b =

10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	6	6	6	10	10
10	10	10	10	10	6	6	6	10	10
10	10	10	10	10	6	6	6	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

**Gambar 2.17** Matriks b sebagai matriks hasil perhitungan H-minima transform dari matriks a [13]

#### 2.1.4.2.5 Regional minima

Regional minimum merupakan sebuah *flat zone* yang tidak dikelilingi oleh *flat zone* dengan nilai keabuan yang lebih rendah. *Flat zone* adalah komponen terhubung (*connected component*) yang maksimal dari sebuah citra abu-abu dengan nilai piksel yang sama. Regional minimum merupakan metode matematika morfologi yang digunakan untuk mencari nilai terendah dari semua nilai piksel di sekitarnya. Berikut merupakan persamaan regional minimum dapat dilihat pada persamaan 2.21.

$$RMIN_{B_c}(f) = (1 \leq ((f + 1)\nabla_{B_c}f) - f) \vee (f \leq 0) \quad (2.21)$$

Dimana  $B_c$  merupakan sebuah SE,  $f$  adalah citra yang akan diproses dan RMIN merupakan fungsi untuk menghitung Regional Minimum [6]. Sebagai contoh, dapat dilihat pada gambar 2.18 terdapat matriks A yang merupakan matriks awal dengan *connected component* bernilai 2 dan 7. Dimana 2 dan 7 merupakan nilai yang lebih rendah dari pada *connected component* lain yang bernilai 10. Oleh karena itu *connected component* bernilai 2 dan 7 diganti nilainya dengan 1 sedangkan *connected component* bernilai 10 atau lebih besar akan diganti nilainya dengan 0. Dapat dilihat

hasil perhitungan Regional minima dari matriks A pada gambar 2.19 yang menunjukkan matriks B dengan piksel bernilai 0 dan 1.

A =

10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	2	2	2	10	10	10	10	10	10
10	2	2	2	10	10	10	10	10	10
10	2	2	2	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	7	7	7	10	10
10	10	10	10	10	7	7	7	10	10
10	10	10	10	10	7	7	7	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

**Gambar 2.18 Matriks A sebagai matriks awal [14]**

B =

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Gambar 2.19 Matriks B sebagai matriks hasil perhitungan Regional minima dari matriks A [14]**

### 2.1.4.3 Top-Hat dan Bottom-Hat Transformation

*Top-Hat* dan *Bottom-Hat transformation* adalah sebuah operasi yang digunakan untuk mengekstraksi elemen kecil atau detail objek pada suatu citra. *Top-Hat* dan *Bottom-Hat transformation* digunakan untuk berbagai proses dalam pengolahan citra digital seperti ekstraksi fitur, *background equalization*, perbaikan citra dan lain-lain.

*Top-Hat transform* atau *Top-Hat by Opening* didefinisikan sebagai perbedaan antara citra input dan hasil *opening* dari citra input tersebut oleh suatu SE. Persamaan 2.22 menunjukkan *Top-Hat transformation*:

$$T_{hat}(f) = f - (f \circ b) \quad (2.22)$$

*Bottom-Hat transform* atau *Bottom-Hat by Closing* didefinisikan sebagai perbedaan antara citra input dan hasil *closing* dari citra input tersebut oleh suatu SE. Persamaan 2.23 menunjukkan *Bottom-Hat transform*:

$$B_{hat}(f) = (f \cdot b) - f \quad (2.23)$$

Prinsip utama dari transformasi ini adalah menghilangkan objek dari sebuah citra dengan menggunakan SE dalam operasi *opening* dan *closing* yang tidak sesuai dengan objek yang akan dihapus. Operasi pencarian perbedaan akan menghasilkan suatu citra dimana hanya komponen yang dihapus yang akan tetap ada. *Top-hat transformation* diaplikasikan untuk objek terang yang berada dalam *background* yang gelap, sedangkan *Bottom-Hat transformation* diaplikasikan pada objek gelap yang berada dalam *background* terang. Penggunaan transformasi ini bagus digunakan dalam menghilangkan iluminasi citra. Penghilangan iluminasi merupakan hal yang penting dalam proses ekstraksi objek dari *background* [6].

#### 2.1.4.4 Region Properties

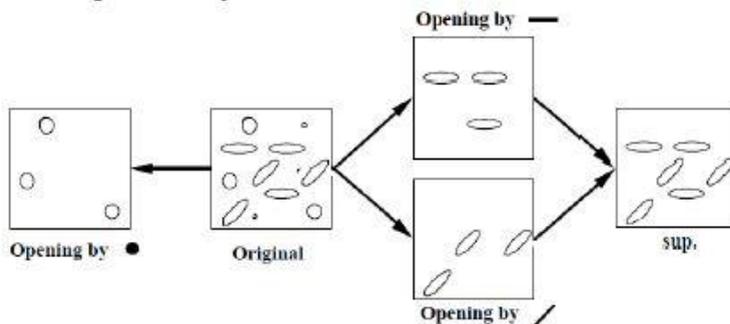
*Region properties (regionprops)* mengukur kumpulan atribut untuk tiap *connected component* objek pada citra biner. Pada *regionprops* terdapat berbagai atribut untuk mencari suatu objek seperti mencari nilai luasan, perimeter, *Centroid*, *Convex Area*, *Convex Image*, *Eccentricity*, *Max Intensity*, *Mean Intensity*, *Min Intensity*, *Solidity* dan lain sebagainya. *Regionprops* biasa digunakan untuk ekstraksi fitur. Berfungsi untuk mencari nilai atau membatasi nilai dari suatu objek pada citra yang ingin di proses.

### 2.1.4.5 Supremum of Openings

Proses *Supremum of Openings* merupakan operasi *opening* yang dilakukan berkali-kali dengan SE yang berbeda-beda yang kemudian dihitung *supremum*-nya. Teori dari *supremum of Openings* adalah:

- Setiap *Supremum of Openings* merupakan kumpulan dari operasi *opening*.
- Setiap *Infimum of Closing* merupakan kumpulan dari operasi *closing*.

Untuk membentuk *opening* dengan properti yang spesifik, dapat digunakan SE dengan bermacam bentuk dan diambil *supremum* dari hasil *opening* dengan SE yang spesifik tersebut. Pada gambar 2.20 diilustrasikan proses kerja dari metode *Supremum of Openings*:



**Gambar 2.20 Ilustrasi Supremum of Openings [6]**

## 2.2 Tahap Perhitungan Tingkat Kebenaran

Perhitungan tingkat kebenaran dari hasil segmentasi pada sistem ini menggunakan perhitungan nilai sensitivitas, spesifisitas dan akurasi. Pengukuran sensitivitas dan spesifisitas merupakan pengukuran statistik untuk mengukur performa dari suatu metode untuk mendeteksi suatu objek. *Sensitivitas* merupakan ukuran kemampuan sistem dalam mendeteksi objek lesi merah yang

dihitung berdasarkan rasio antara true positif piksel terhadap jumlah kelas positif. Sedangkan *spesifisitas* merupakan ukuran kemampuan sistem untuk mendeteksi objek yang bukan merupakan lesi merah. Persentase dari nilai sensitivitas dapat dihitung dengan rumus seperti pada persamaan 2.24.

$$\text{Sensitivitas} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2.24)$$

Persentase dari nilai spesifisitas dapat dihitung dengan rumus seperti pada persamaan 2.25.

$$\text{Spesifisitas} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (2.25)$$

*True positive* (TP) merupakan jumlah piksel benar yang terdeteksi sebagai lesi merah pada citra hasil segmentasi maupun citra *groundtruth*. *True negative* (TN) merupakan jumlah piksel benar yang terdeteksi sebagai *background* pada citra hasil segmentasi maupun pada citra *groundtruth*. *False positive* (FP) merupakan jumlah piksel yang salah terdeteksi sebagai lesi merah pada citra hasil segmentasi, namun pada citra *groundtruth* piksel tersebut merupakan *background*. Sedangkan *false negative* (FN) merupakan jumlah piksel yang salah terdeteksi sebagai *background* pada citra hasil segmentasi, namun pada citra *groundtruth* piksel tersebut merupakan lesi merah. Selain nilai spesifisitas dan sensitivitas, perhitungan persentase akurasi sistem juga digunakan dengan rumus seperti pada persamaan 2.26.

$$\text{Akurasi} = \frac{(TN + TP)}{(TN + FP + FN + TP)} \quad (2.26)$$

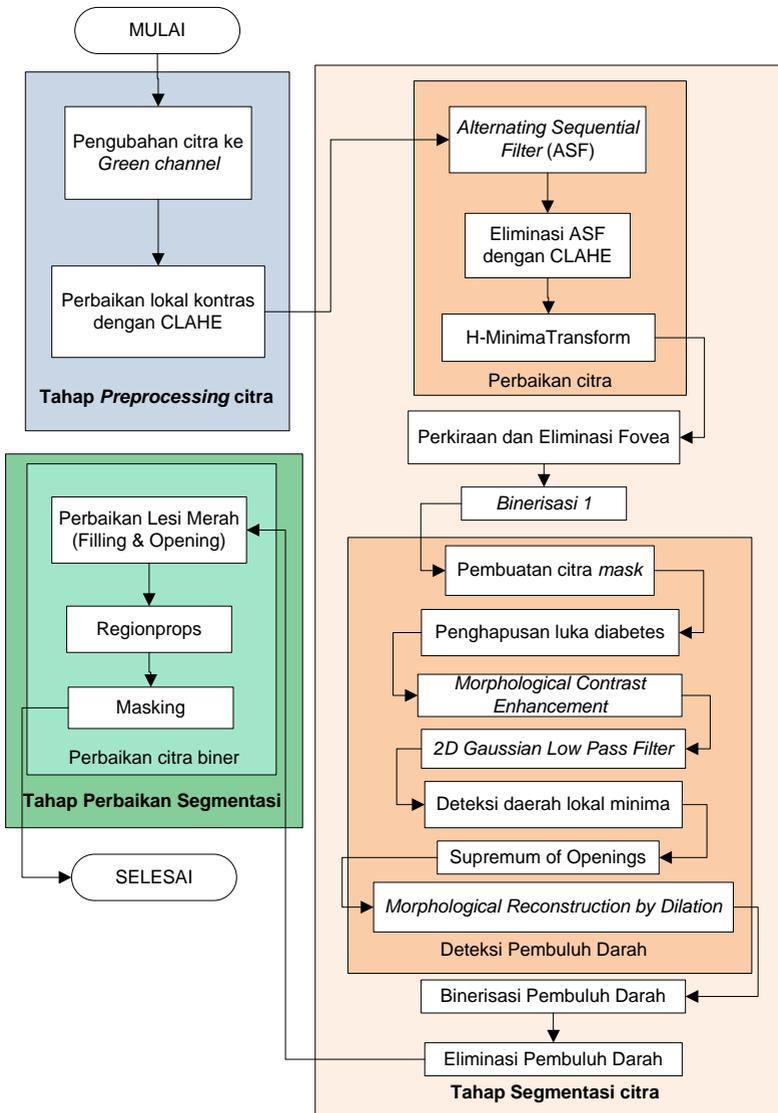
## **BAB III**

### **DESAIN DAN PERANCANGAN**

Pada Bab 3 akan dijelaskan mengenai perancangan sistem perangkat lunak untuk mencapai tujuan dari Tugas Akhir. Perancangan yang akan dijelaskan pada bab ini meliputi perancangan data, perancangan proses dan perancangan antar muka. Selain itu akan dijelaskan juga desain metode secara umum pada sistem.

#### **3.1 Desain Metode Secara Umum**

Pada Tugas Akhir ini akan dibangun suatu sistem untuk melakukan segmentasi lesi merah pada citra fundus retina mata berwarna dengan pendekatan metode morfologi. Proses-proses yang ada dalam sistem ini meliputi proses *preprocessing*, segmentasi dan perbaikan segmentasi. Tahap *preprocessing* merupakan tahap pertama yang dilakukan untuk menyiapkan dan mengolah citra masukan agar dapat tersegmentasi dengan optimal. Dalam tahap ini akan dilakukan proses perbaikan kontras citra dengan *green channel* dan CLAHE agar lesi merah dan objek lain dengan intensitas rendah dapat terlihat kontras dengan *background*. Hasil dari tahap *Preprocessing* akan digunakan pada tahap segmentasi. Tahap segmentasi meliputi proses perbaikan objek dengan intensitas rendah seperti pembuluh darah, *fovea* dan lesi merah, segmentasi pembuluh darah dengan *Supremum of openings*, pencarian *Region of Interest* dari *fovea* dan eliminasi *fovea*, binerisasi citra hasil eliminasi *fovea* dan eliminasi pembuluh darah yang telah tersegmentasi dari citra biner hasil eliminasi *fovea*. Tahap terakhir yaitu perbaikan segmentasi yang meliputi proses penghapusan noise atau sisa dari pembuluh darah yang tidak tereliminasi dengan *filing*, *opening* dan memilih kriteria nilai luasan dan *eccentricity* dari lesi merah dengan *region properties*. Diagram alir dari keseluruhan proses sistem ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Diagram alir model sistem keseluruhan

## 3.2 Perancangan Data

Perancangan data merupakan bagian yang penting dalam pengoperasian perangkat lunak karena diperlukan data yang tepat agar perangkat lunak dapat beroperasi dengan benar. Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai perancangan data yang dibutuhkan untuk membangun perangkat lunak untuk segmentasi lesi merah pada citra fundus retina mata berwarna menggunakan pendekatan metode morfologi. Data yang diperlukan dalam pengoperasian perangkat lunak adalah data masukan (*input*) dan data keluaran (*output*) yang memberikan hasil proses pengoperasian perangkat lunak untuk pengguna.

### 3.2.1 Data Masukan

Data masukan adalah data awal yang akan diproses pada sistem segmentasi lesi merah pada citra fundus mata berwarna menggunakan pendekatan morfologi. Data tersebut berupa citra fundus retina mata berwarna yang diambil dari database DIARETDB1 dengan ukuran  $640 \times 480$  dan berupa citra RGB [13]. Contoh citra masukan yang digunakan sebagai data masukan ditunjukkan seperti pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Citra fundus retina mata berwarna sebagai data masukan

### 3.2.2 Data Proses

Data proses adalah data yang digunakan dalam proses berjalannya perangkat lunak yang merupakan data keluaran dari data masukan awal dan akan menjadi data masukan kembali pada proses selanjutnya. Data proses yang digunakan dalam proses ini di tunjukkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Data proses**

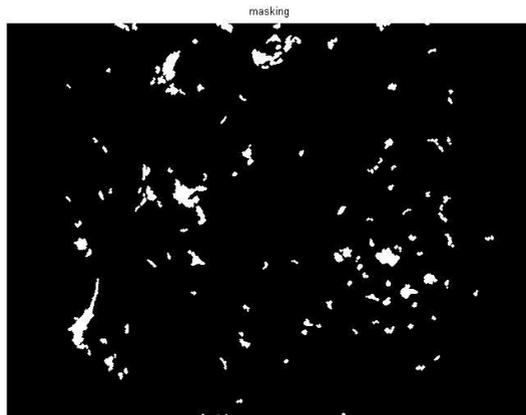
No.	Nama Data	Keterangan
1.	figure_input	Citra masukan awal seperti pada Gambar 3.1. dengan ukuran 1500 × 1152
2.	figure_res	Citra hasil <i>resize</i> dengan ukuran 640 × 480
3	green	Citra hasil pemilihan komponen warna <i>Green channel</i>
4	figure_clahe	Citra hasil perbaikan kontras dengan <i>Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization</i>
5	asf	Citra hasil estimasi background dengan <i>Alternating Sequential Filter</i> dari citra hasil <i>preprocessing</i>
6	Z	Hasil pengurangan dari citra estimasi <i>background</i> dengan citra hasil perbaikan kontras menggunakan CLAHE
7	figure_hamin	Citra hasil pengolahan menggunakan <i>H-minima transform</i> dengan threshold yang telah ditentukan
8	roi	Hasil pengisian ( <i>filling</i> ) bagian <i>Region of interest</i> dari rata rata posisi <i>fovea</i>

9	asf2	Hasil dari proses closing opening dengan satu iterasi dan satu jenis SE
10	W	Hasil pengurangan dari citra <i>asf2</i> dari citra hasil perbaikan kontras menggunakan CLAHE
11	figure_regmin2	Citra hasil pengolahan pencarian Regional minimum dari hasil <i>Green channel</i>
12	figure_reg	Citra hasil dari proses perkalian figure_regmin2 dengan citra hasil <i>Green channel</i>
13	figure_recons_dil1	Hasil keluaran citra setelah mengalami <i>Morphological reconstruction</i> dari citra figure_reg sebagai <i>marker</i> dan citra hasil <i>Green channel</i> sebagai <i>mask</i>
14	figure_enhance	Citra hasil pengolahan dari <i>Top-Hat</i> dan <i>Bottom-Hat</i> yang disebut juga proses <i>Morphological contrast enhancement</i>
15	figure_gaussian	Citra hasil dari proses perhitungan 2D <i>Gaussian low pass filter</i>
16	figure_bothat	Citra hasil pengolahan dari <i>Bottom-Hat transform</i> yang digunakan untuk perbaikan citra
17	figure_so	Citra hasil perhitungan <i>Supremum of openings</i>
19	figure_binary	Citra biner hasil <i>thresholding</i> dari roi atau hasil eliminasi <i>fovea</i>
20	figure_binary2	Citra biner hasil <i>thresholding</i> dari hasil <i>Morphological reconstruction by dilation</i> dengan

		citra hasil <i>W</i> merupakan <i>mask</i> dan <i>figure_so</i> sebagai <i>marker</i>
21	minvessel	Hasil pengurangan citra hasil <i>figure_binary</i> dengan <i>figure_binary2</i>
22	shape	Citra hasil eliminasi atribut dengan kriteria yang telah ditentukan dengan <i>Regionprops</i>
23	masking	Citra hasil perkalian antara <i>mask</i> dengan citra hasil eliminasi atribut dari <i>shape</i>

### 3.2.3 Data Keluaran

Data keluaran dari sitem ini merupakan data hasil proses segmentasi lesi merah menggunakan pendekatan metode morfologi. Variabel yang merupakan data keluaran dari proses ini adalah *masking* yang merupakan hasil dari proses penghilangan lingkaran tepi dari retina pada citra fundus retina dengan *mask* dari dataset DIARETDB1. Data keluaran dari hasil segmentasi lesi merah ditunjukkan pada Gambar 3.3.



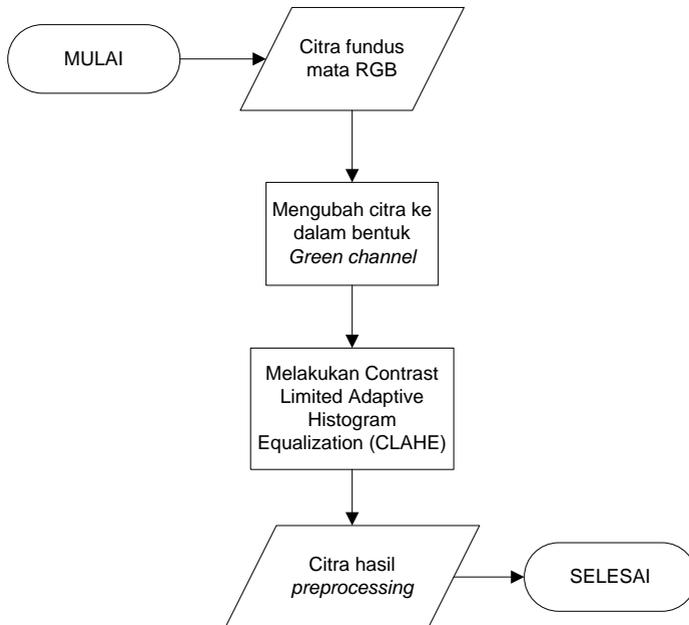
**Gambar 3.3** Citra akhir hasil segmentasi lesi merah

### 3.3 Perancangan Proses

Perancangan proses dilakukan untuk memberikan gambaran mengenai setiap alur proses algoritma pada sistem segmentasi lesi merah pada citra fundus retina mata berwarna. Alur tersebut akan digunakan dalam tahap implementasi.

#### 3.3.1 Tahap *Preprocessing*

Dalam tahap *preprocessing* citra terdapat beberapa proses antara lain mengubah citra masukan ke dalam *green channel* dan perbaikan kontras citra dengan CLAHE. Pada Gambar 3.4 digambarkan diagram alir dari proses *preprocessing* citra.



**Gambar 3.4** Diagram alir tahap *preprocessing*

##### 3.3.1.1 Pengubahan Citra ke *Green channel*

Pengubahan citra masukan ke dalam kanal *green channel* merupakan proses pertama dalam tahap *preprocessing* citra. Citra

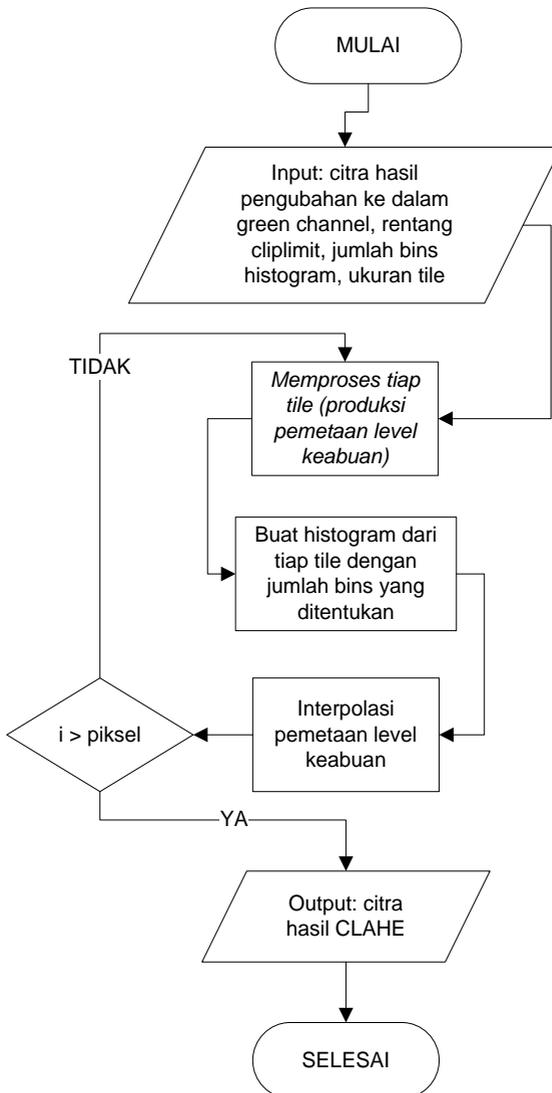
masukan dari dataset DIARETDB1 dengan ukuran awal  $1500 \times 1152$  di ubah ukurannya menjadi  $640 \times 480$ . Citra tersebut merupakan citra pada ruang warna RGB yang akan diambil kanal hijaunya saja. Kanal hijau atau *green channel* memiliki nilai saturasi yang paling baik jika dibandingkan dengan *channel* lainnya. Proses pengubahan ke dalam *green channel* ini bertujuan untuk memperbaiki kontras citra dan mempermudah proses segmentasi di tahap selanjutnya.

### 3.3.1.2 Perbaikan Lokal Kontras Citra

Data masukan pada proses perbaikan *local contrast* ini adalah hasil pengubahan citra ke *green channel*. Pada proses tersebut, dilakukan perbaikan *local contrast* dengan CLAHE. Proses perbaikan *local contrast* citra dapat dilihat pada persamaan 3.1. Dimana  $f_G$  merupakan citra hasil *green channel* dan  $f_1$  merupakan citra hasil CLAHE.

$$f_1 = CLAHE(f_G) \quad (3.1)$$

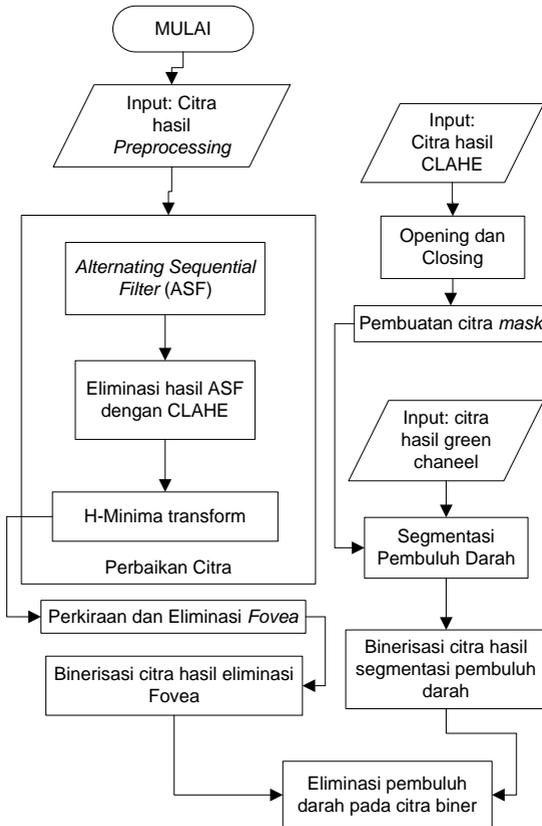
CLAHE merupakan proses ekualisasi histogram yang bekerja pada daerah-daerah kecil yang disebut dengan *tile*. Untuk mengeliminasi adanya *region boundaries*, CLAHE menerapkan interpolasi bilinear. Hal ini dilakukan agar hasil penggabungan *tile* terlihat lebih halus. Spesifikasi area *window* lokal pada tiap *tile* yang diproses adalah [8 8]. Sedangkan nilai batas *clipping* atau *cliplimit* pada proses CLAHE merupakan faktor kontras yang akan menghindari saturasi berlebihan dari citra pada area kontras yang homogen. Dengan menggunakan CLAHE objek dengan intensitas rendah pada citra masukan seperti pembuluh darah, lesi merah dan *fovea* dapat terlihat jelas dan kontras dari *background* retina. Proses CLAHE dapat dilihat pada gambar 3.5.



**Gambar 3.5 Diagram alir proses CLAHE**

### 3.3.2 Tahap Segmentasi

Pada tahap ini dilakukan proses segmentasi terhadap objek yang ada pada citra fundus. Segmentasi pada tahap ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan metode matematika morfologi. Dalam tahap segmentasi ini terdapat beberapa proses antara lain proses perbaikan citra, perkiraan dan eliminasi *fovea*, proses binerisasi awal, deteksi pembuluh darah, binerisasi pembuluh darah dan segmentasi lesi merah. Pada Gambar 3.5 digambarkan diagram alir dari proses segmentasi citra.



**Gambar 3.6 Diagram alir tahap segmentasi**

### 3.3.2.1 Proses Perbaikan Citra

Tujuan utama dari proses ini adalah memperbaiki objek dengan intensitas rendah pada citra fundus dan menggunakan objek tersebut sebagai kandidat lesi merah. Perbaikan citra ini menggunakan beberapa proses matematika morfologi dan *morphological reconstruction* diantaranya adalah proses *Alternating Sequential Filter* (ASF), eliminasi *background* dan *H-minima transform*.

#### 3.3.2.1.1 *Alternating Sequential Filter*

Proses *Alternating Sequential Filter* (ASF) ini bertujuan untuk mengestimasi *background* dari citra hasil *preprocessing* agar dapat dieliminasi sehingga menghasilkan citra dengan kandidat lesi merah yang lebih jelas. ASF merupakan implementasi dari operasi *morphological opening*  $\gamma$  dan *closing*  $\emptyset$  yang diiterasi sebanyak  $n$  kali dengan ukuran SE  $B$  seperti pada persamaan 3.2. Dimana  $f_1$  merupakan hasil CLAHE dan  $f_2$  merupakan hasil proses ASF.

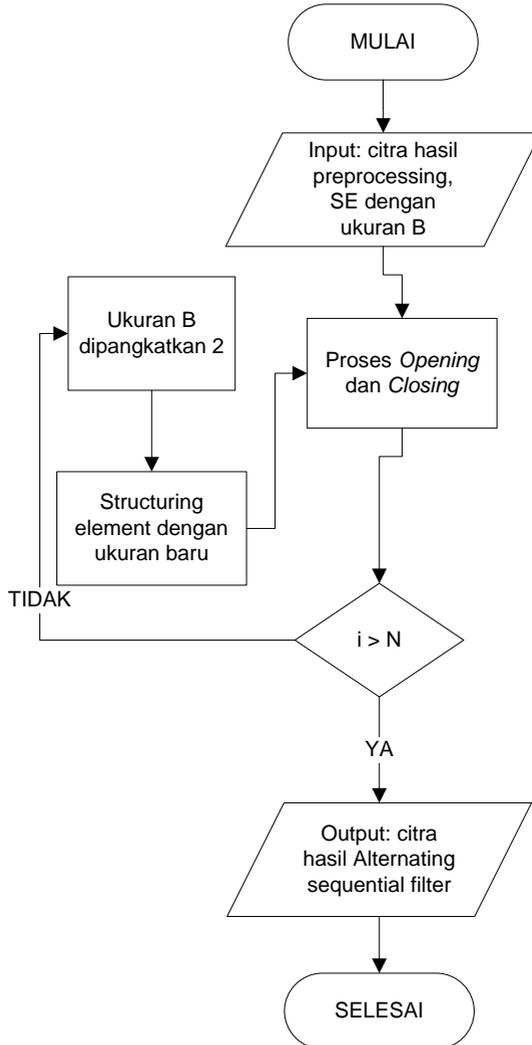
$$f_2 = \emptyset^{(nB)}(\dots(\gamma^{2B}(\emptyset^{(B)}(\gamma^B(f_1))))\dots) \quad (3.2)$$

Pada referensi [15], proses ASF memberikan hasil yang optimal jika dilakukan dengan 3 kali iterasi dan radius SE 5 piksel. Pada Tugas Akhir ini proses ASF dilakukan dengan 2 kali iterasi. SE yang digunakan berbentuk *disk* dan beradius 6 piksel, dimana ukuran dari SE akan dilipat gandakan untuk tiap iterasinya. Proses *Alternating sequential filter* dapat dilihat pada Gambar 3.7.

#### 3.3.2.1.2 *Eliminasi Background*

Proses selanjutnya adalah eliminasi *background* citra dengan mengurangi citra hasil ASF dengan hasil CLAHE. Akan didapatkan citra dengan intensitas nilai piksel yang berkebalikan dengan citra sebelumnya sehingga objek dengan intensitas nilai piksel tinggi seperti *optical disk* dan *exudates* akan tereliminasi

atau berwarna mendekati hitam. Proses eliminasi *background* dapat dilihat pada persamaan 3.3.



**Gambar 3.7** Diagram alir proses *Alternating sequential filter*

Dimana  $f_2$  merupakan citra hasil ASF,  $f_1$  merupakan citra hasil CLAHE dan  $f_3$  merupakan citra hasil proses eliminasi *background*.

$$f_3 = f_2 - f_1 \quad (3.3)$$

### 3.3.2.1.3 *H-minima Transform*

Proses ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi region dengan kontras rendah pada citra hasil eliminasi *background*, yang merupakan atau berhubungan dengan *optical disk* dan *exudates* [14]. Proses ini mengeliminasi *connected component* dengan nilai kontras kurang dari *threshold h*. Implementasi proses ini dapat dilihat pada persamaan 3.4. dimana  $f_3$  merupakan citra hasil eliminasi *background* dan  $f_4$  merupakan citra hasil proses *H-minima transform*.

$$f_4 = Hmin_h(f_3) \quad (3.4)$$

### 3.3.2.2 *Perkiraan dan Eliminasi Fovea*

Tujuan dari proses ini antara lain mencari lokasi *fovea* atau bintik buta pada citra fundus retina mata dari hasil olahan citra sebelumnya dan mengeliminasi. *Fovea* pada citra fundus retina mata memiliki karakteristik warna dan bentuk yang mirip dengan *hemorrhage* yang merupakan bagian dari lesi merah. Sehingga jika *fovea* tidak dieliminasi dapat terdeteksi sebagai lesi merah. *Fovea* memiliki lokasi yang pasti pada mata manusia. Pada citra fundus *fovea* memiliki lokasi sejajar dengan *optic disk* sehingga lokasinya dapat diperkirakan 2 kali dari diameter *optic disk*.

Lokasi dari *fovea* pada citra fundus ditentukan dengan menentukan *Region of Interest (ROI)* di tiap citra pada dataset. Penentuan daerah ROI dilakukan dengan mencari rata-rata dari posisi koordinat pojok kanan atas, pojok kanan bawah, pojok kiri atas dan pojok kiri bawah dari kotak perkiraan daerah *fovea*. Setelah menemukan lokasi ROI dari *fovea*, akan dilakukan

eliminasi *fovea* pada ROI tersebut. Eliminasi pada daerah ROI dilakukan dengan menginterpolasi nilai piksel pada daerah ROI menggunakan persamaan *Laplace*. Operator *Laplace* disebut juga operator turunan kedua. Operasi *Laplace* mendeteksi lokasi tepi pada citra, khususnya tepi yang bernilai curam. Turunan keduanya mempunyai persilangan nilai nol, yang dapat menunjukkan lokasi tepi yang akurat. Operasi perkiraan dan eliminasi *fovea* dapat dilihat pada persamaan 3.5. Dimana  $f_4$  merupakan citra hasil H-minima transform dan  $f_5$  merupakan citra hasil proses *Roifill*.

$$f_5 = Roifill(f_4) \quad (3.5)$$

### 3.3.2.3 Proses Binerisasi

Pada proses ini dilakukan proses pengubahan citra hasil eliminasi *fovea* ke dalam bentuk citra biner dengan metode *global thresholding*. Nilai *threshold* ditentukan secara manual berdasarkan beberapa kali percobaan. Dalam proses ini, rentang nilai piksel dari objek yang akan disegmentasi pada citra masukan adalah antara 0-0,695. Rentang nilai tersebut didapatkan dengan mencari nilai rata-rata matriks objek yang akan disegmentasi dari 25 data uji coba. Implementasi proses ini dapat dilihat pada persamaan 3.6 dan 3.7. Dimana  $f_5$  merupakan citra hasil proses eliminasi *fovea* dan  $f_6$  merupakan citra hasil *thresholding*.

$$f_6(x, y) = 1, \text{ jika } f_5(x, y) > T \quad (3.6)$$

$$0, \text{ jika } f_5(x, y) < T \quad (3.7)$$

### 3.3.2.4 Segmentasi Pembuluh Darah

Tujuan utama dari proses ini adalah mensegmentasi pembuluh darah yang nantinya akan dieliminasi dari citra biner hasil eliminasi *fovea*. Deteksi pembuluh darah ini terdiri dari beberapa proses matematika morfologi dan *morphological reconstruction*. Diantaranya adalah membuat citra mask untuk *morphological reconstruction* dari proses eliminasi citra hasil opening dan closing

dengan citra hasil CLAHE, penghapusan luka diabetes dengan Regional minima, perbaikan citra dengan *Top-Hat* dan *Bottom-Hat transformation*, penghapusan derau dan *microaneurysm* dengan *2D Gaussian low pass filter*, ekstraksi daerah dengan intensitas rendah menggunakan *Bottom-Hat transformation*, mengidentifikasi pembuluh darah dengan perhitungan *Supremum of Openings* dan perkiraan pembuluh darah dengan *morphological reconstruction by dilation*.

#### 3.3.2.4.1 Pembuatan Citra Mask untuk Deteksi Pembuluh Darah

Pada proses ini digunakan operasi *opening* dan *closing* dengan SE berbentuk *disk* dan berukuran 3 piksel. Implementasi proses ini dapat dilihat pada persamaan 3.8. Dimana  $f_1$  merupakan citra hasil proses CLAHE dan  $f_7$  merupakan citra hasil pembuatan mask untuk deteksi pembuluh darah.

$$f_7 = \emptyset^{(B)}(\gamma^B(f_1)) \quad (3.8)$$

Hasil *opening* dan *closing* kemudian akan dieliminasi dengan hasil CLAHE yang nantinya akan digunakan sebagai citra *mask* pada proses perkiraan pembuluh darah. Implementasi proses ini dapat dilihat pada persamaan 3.9. Dimana  $f_7$  merupakan citra hasil proses operasi *opening* dan *closing* dan  $f_1$  merupakan citra hasil proses CLAHE.

$$f_8 = f_7 - f_1 \quad (3.9)$$

#### 3.3.2.4.2 Penghapusan Luka Diabetes

Pada proses ini, akan dilakukan penghapusan luka diabetes seperti lesi merah. Penghapusan ini dilakukan untuk memudahkan proses segmentasi pembuluh darah, karena lesi merah memiliki karakteristik warna yang sama dengan pembuluh darah sehingga akan sulit dilakukan segmentasi jika lesi merah tidak dihilangkan terlebih dahulu. Penghapusan lesi merah

dilakukan dengan menggunakan metode pendeteksian Regional minima dan *morphological reconstruction*. Implementasi proses ini dapat dilihat pada persamaan 3.10.

$$f_9 = R_{f_g}(RMIN(f_g)) \quad (3.10)$$

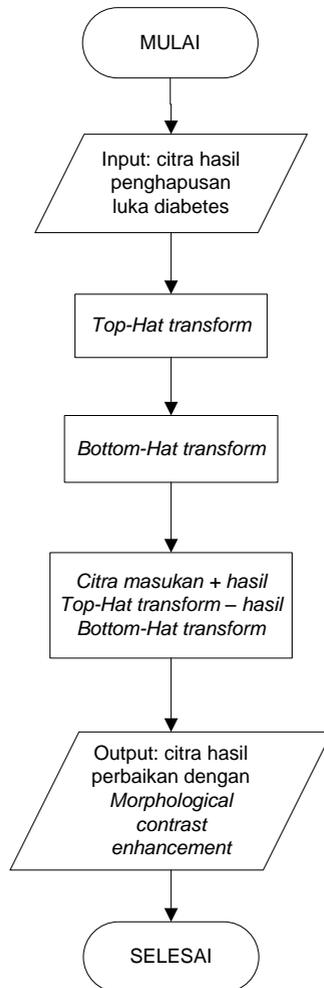
Dimana  $f_9$  merupakan citra hasil proses penghapusan lesi merah,  $f_g$  merupakan citra hasil *green channel* dan  $R_{f_g}$  merupakan hasil *morphological reconstruction* dari citra yang telah dicari regional minimumnya. Proses ini mengolah kembali citra hasil *green channel* untuk mengoptimalkan proses segmentasi pembuluh darah.

### 3.3.2.4.3 Perbaikan Citra dengan *Morphological Contrast Enhancement*

Pada proses ini dilakukan perbaikan citra dengan *Morphological contrast enhancement*. *Morphological contrast enhancement* terdiri dari proses *Bottom-Hat* dan *Top-Hat transformation*. Implementasi proses ini dapat dilihat pada persamaan 3.11.

$$f_{10} = f_9 + \gamma_{TH}(f_9) - \phi_{TH}(f_9) \quad (3.11)$$

Dimana *Top-Hat transform*  $\gamma_{TH}$  menghasilkan citra  $f_9$  yang hanya mengandung daerah terang sedangkan *Bottom-Hat transform*  $\phi_{TH}$  menghasilkan citra  $f_9$  yang hanya mengandung daerah gelap. Operasi ini menggunakan SE berbentuk *ball* dengan ukuran radius 12 piksel dan tingkat keabuan 100. Dalam proses ini dibutuhkan SE yang mempunyai karakteristik tidak dipengaruhi arah dan simetris terhadap bentuk citra asli. Proses perbaikan citra dengan *Morphological contrast enhancement* dapat dilihat pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.8** Diagram alir proses *Morphological Contrast Enhancement*

#### 3.3.2.4.4 Penghapusan Derau dan *Microaneurysm*

Pada proses ini dilakukan penghilangan derau dan *microaneurysm* dengan menggunakan *2D Gaussian low pass filter*.

*2D Gaussian low pass filter* dapat berfungsi sebagai filter *smoothing* pada citra. Sebelum dilakukan proses segmentasi pembuluh darah, penghilangan derau dan *microaneurysm* akan sangat diperlukan. Oleh karena itu, dengan digunakannya *2D Gaussian low pass filter* diharapkan proses segmentasi pembuluh darah akan menjadi lebih optimal. Implementasi proses ini dapat dilihat pada persamaan 3.12. Dimana  $f_{10}$  merupakan citra hasil *Morphological contrast enhancement* dan  $f_{11}$  merupakan citra hasil *2D Gaussian low pass filter*.

$$f_{11} = f_{10} \times G(x, y) \quad (3.12)$$

#### 3.3.2.4.5 Ekstraksi Daerah Lokal Minima

Proses ini bertujuan untuk mengekstraksi daerah dengan intensitas rendah yaitu daerah lokal minima pada citra keluaran proses sebelumnya. Perbaikan citra dengan *Bottom-Hat transform* ini berfungsi untuk mendeteksi bagian pembuluh darah yang memanjang dan berintensitas rendah. Implementasi proses ini dapat dilihat pada persamaan 3.13.

$$f_{12} = \phi_{TH}^{(B)}(f_{11}) \quad (3.13)$$

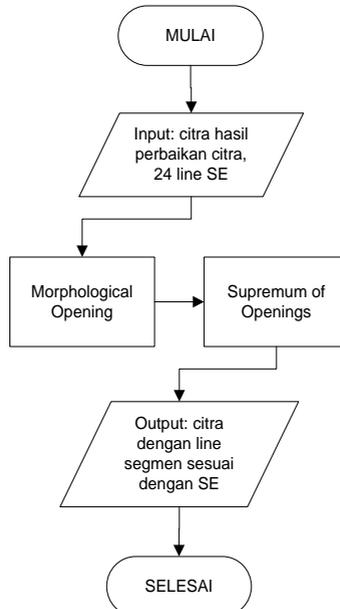
Dimana  $f_{12}$  merupakan citra hasil proses *Bottom-Hat transform* dan  $f_{11}$  merupakan citra hasil proses *smoothing* dengan *2D Gaussian low pass filter*.

#### 3.3.2.4.6 Perhitungan *Supremum of Openings*

Proses ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur pembuluh darah yang memanjang pada citra keluaran dari proses sebelumnya [15]. Berbeda dengan referensi [15] yang hanya menggunakan 12 buah SE berbentuk *line* dengan panjang 40 piksel., Perhitungan *Supremum of Openings* ini menggunakan 24 buah SE berbentuk *line* dengan panjang 120 piksel dan rentang 15 derajat untuk tiap SE. Implementasi proses ini dapat dilihat pada persamaan 3.14.

$$f_{13} = \left( \bigcup_{R_{\theta}=1}^{12} \gamma^{(B_{R_{\theta}})}(f_{12}) \right) \cup \left( \bigcup_{L_{\theta}=1}^{12} \gamma^{(B_{L_{\theta}})}(f_{12}) \right) \quad (3.14)$$

Dimana  $B_{R_{\theta}}$  adalah SE yang digunakan untuk mendeteksi pembuluh darah superior dan inferior pada retina mata kanan dengan menggunakan derajat rotasi  $R_{\theta} = \{15^{\circ} \dots 90^{\circ}; -15^{\circ} \dots -90^{\circ}\}$  dan  $B_{L_{\theta}}$  adalah SE yang digunakan untuk mendeteksi pembuluh darah superior dan inferior pada retina mata kiri dengan menggunakan derajat rotasi  $L_{\theta} = \{150^{\circ} \dots 180^{\circ}; 195^{\circ} \dots 270^{\circ}\}$ . Hasil akhir dari proses ini adalah citra yang mengandung kumpulan segmen garis dari citra masukan  $f_{12}$  yang merupakan hasil perbaikan citra dengan *Bottom-Hat transform*. Proses perhitungan *Supremum of openings* dapat dilihat pada Gambar 3.9.



**Gambar 3.9** Diagram alir proses *Supremum of Openings*

### 3.3.2.4.7 Perkiraan Pembuluh Darah

Proses ini bertujuan untuk menentukan perkiraan pembuluh darah yang selanjutnya akan disegmentasi. Pada proses ini digunakan *Morphological reconstruction by dilation*. *Morphological reconstruction by dilation* pada proses ini menggunakan citra hasil keluaran proses eliminasi antara proses *opening* dan *closing* dengan CLAHE ( $f_8$ ) sebagai citra *mask* dan citra hasil dari proses perhitungan *Supremum of opening* ( $f_{10}$ ) sebagai citra *marker*. Implementasi dari proses ini dapat dilihat pada persamaan 3.15.

$$f_{14} = R_{f_8}(f_{10}) \quad (3.15)$$

Dimana  $R_{f_8}(f_{10})$  adalah *Morphological reconstruction by dilation* dari citra *mask*  $f_8$  dan citra *marker*  $f_{10}$ .

### 3.3.2.5 Binerisasi Pembuluh Darah

Pada proses ini dilakukan segmentasi pembuluh darah dari hasil citra keluaran proses perkiraan pembuluh darah. Proses ini dilakukan dengan metode global *thresholding*. Nilai *threshold* ditentukan secara manual berdasarkan beberapa kali percobaan. Dalam proses ini, rentang nilai piksel dari objek yang akan disegmentasi dari citra masukan adalah antara 0 - 0,1426. Rentang nilai tersebut didapatkan dengan mencari nilai rata-rata matriks objek yang akan disegmentasi dari 25 data uji coba. Implementasi proses ini dapat dilihat pada persamaan 3.16 dan 3.17. Dimana  $f_{14}$  merupakan citra hasil proses eliminasi *fovea* dan  $f_{16}$  merupakan citra hasil *thresholding*.

$$f_{15}(x, y) = 1, \text{ jika } f_{14}(x, y) > T \quad (3.16)$$

$$0, \text{ jika } f_{14}(x, y) < T \quad (3.17)$$

### 3.3.2.6 Eliminasi Pembuluh Darah

Proses eliminasi pembuluh darah ini dilakukan setelah mendapatkan hasil *thresholding* dari citra hasil eliminasi *fovea* dan citra hasil segmentasi pembuluh darah. Pada proses ini dilakukan pengurangan citra biner hasil eliminasi *fovea* dengan citra biner hasil segmentasi pembuluh darah. Sehingga citra keluaran proses ini merupakan citra biner yang mengandung lesi merah tanpa *fovea* dan pembuluh darah. Implementasi proses ini dapat dilihat pada persamaan 3.18.

$$f_{16} = f_6 - f_{15} \quad (3.18)$$

Dimana  $f_6$  merupakan hasil *thresholding* dari citra hasil eliminasi *fovea* dan  $f_{15}$  merupakan hasil *thresholding* dari citra hasil segmentasi pembuluh darah.

### 3.3.3 Tahap Perbaikan Segmentasi

Tahap ini merupakan tahap terakhir dari alur proses perancangan sistem segmentasi lesi merah pada citra fundus berwarna. Dalam tahap perbaikan segmentasi citra terdapat beberapa proses antara lain penghapusan derau dari objek yang bukan merupakan lesi merah dengan *opening*, penghapusan residu pembuluh yang tidak tereliminasi dengan *region properties* dan *masking* untuk mengeliminasi objek diluar region retina. Pada Gambar 3.10 digambarkan diagram alir dari proses perbaikan segmentasi citra.

#### 3.3.3.1 Perbaikan Akhir Citra Biner

Pada citra biner hasil segmentasi lesi merah, masih terdapat derau dari objek yang bukan merupakan bagian dari lesi merah. Contohnya antara lain adanya derau pada *background* citra akibat resolusi citra masukan awal yang rendah, residu pembuluh darah yang tidak ikut tereliminasi dan lain sebagainya. Proses pertama adalah mengisi celah kecil pada objek dengan *filling* yang bertujuan memperjelas objek hasil segmentasi yang selanjutnya

akan dilakukan operasi *opening*. Operasi *opening* ini dilakukan menggunakan SE berbentuk *diamond* dengan ukuran 1 piksel. Proses *opening* tersebut bertujuan untuk sedikit memperbesar objek hasil segmentasi agar terlihat lebih jelas. Implementasi proses tersebut dapat dilihat pada persamaan 3.19.

$$f_{17} = \gamma^{(B)}(FILL(f_{16})) \quad (3.29)$$

Dimana  $f_{16}$  merupakan citra hasil keluaran segmentasi akhir dari lesi merah dan  $f_{17}$  merupakan citra keluaran dari proses *opening* dan *filling*. Proses selanjutnya adalah implementasi operasi *regionprops* untuk mendapatkan nilai *area* dan *eccentricity* untuk tiap objek pada citra keluaran akhir hasil perbaikan dengan *opening* dan *filling*. Nilai *area* menentukan nilai luasan untuk objek yang tersegmentasi pada citra, sedangkan nilai *eccentricity* merupakan nilai untuk menentukan apakah objek yang tersegmentasi merupakan elips atau lingkaran. Nilai *eccentricity* memiliki rentang nilai antara 0 dan 1. Apabila nilai *eccentricity* 0, maka objek merupakan lingkaran sedangkan apabila nilai *eccentricity* 1 maka objek merupakan elips.

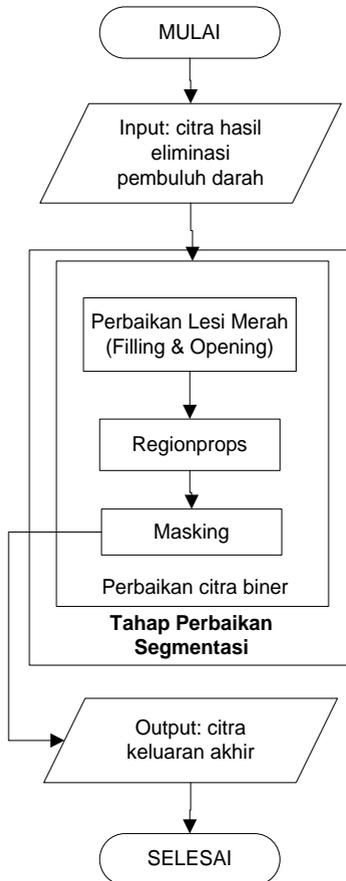
Dengan mendapatkan nilai *area* dan *eccentricity* penghilangan residu dari pembuluh darah yang berbentuk panjang dan *noise background* dengan ukuran kecil dapat dieliminasi. Implementasi proses tersebut dapat dilihat pada persamaan 3.20.

$$f_{18} = Regionprops(f_{17}) \quad (3.20)$$

Dimana  $f_{17}$  merupakan citra keluaran akhir hasil perbaikan dengan *opening* dan *filling* dan  $f_{18}$  merupakan citra keluaran dari hasil ekstraksi *region properties*. Proses terakhir dari tahap ini adalah proses perbaikan *field of view* menggunakan citra *mask* retina dari DIARETDB1. Proses ini bertujuan untuk menghapus objek di luar keliling area retina. Proses ini dilakukan dengan mengalikan citra akhir dari hasil *region properties* dengan citra *mask* retina dari DIARETDB1.

$$f_{19} = f_{mask} \times f_{18} \quad (3.21)$$

Implementasi dari proses tersebut dapat dilihat pada persamaan 3.21.



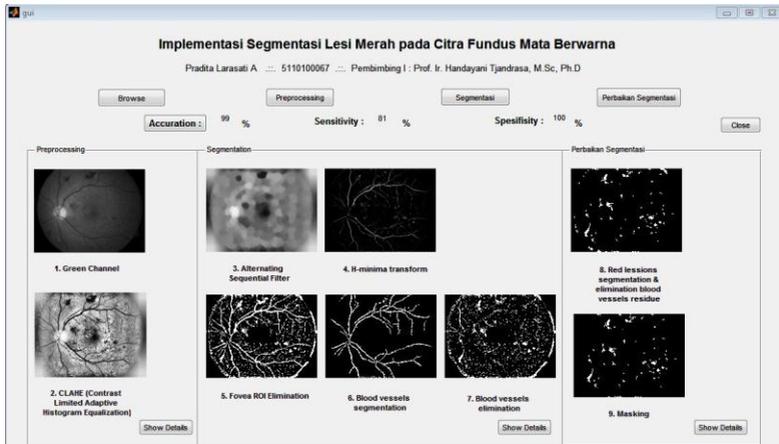
**Gambar 3.10 Diagram alir tahap perbaikan segmentasi**

### 3.3.4 Perancangan Antarmuka Perangkat Lunak

Perancangan antarmuka perangkat lunak merupakan penggambaran halaman antarmuka yang akan digunakan pengguna ketika berinteraksi dengan aplikasi. Langkah pertama untuk menjalankan aplikasi ini adalah memilih citra masukan dengan memilih tombol *Browse*. Setelah citra masukan dipilih, tahap selanjutnya adalah tahap *preprocessing* citra.

Untuk melakukan *preprocessing* pada sistem dilakukan dengan memilih tombol *preprocessing*. Hasil keluaran citra dari tahap *preprocessing* akan muncul pada kotak kategori *preprocessing* pada bagian kiri aplikasi dengan urutan proses yang berada pada keterangan di bawah gambar. Setelah melakukan tahap *preprocessing*, tahap selanjutnya adalah tahap segmentasi citra. Segmentasi pada sistem ini dilakukan dengan memilih tombol segmentasi. Hasil keluaran citra dari tahap segmentasi akan muncul pada kotak kategori segmentasi pada bagian tengah aplikasi dengan urutan proses yang berada pada keterangan di bawah gambar. Tahap terakhir adalah tahap perbaikan segmentasi pada citra. Perbaikan segmentasi pada pada sistem ini dilakukan dengan memilih tombol perbaikan segmentasi. Hasil keluaran citra dari tahap perbaikan segmentasi akan muncul pada kotak kategori perbaikan segmentasi pada bagian kanan aplikasi dengan urutan proses yang berada pada keterangan di bawah gambar.

Tombol *Show Details* pada tiap-tiap kotak kategori digunakan untuk menampilkan citra hasil pada tiap proses dalam ukuran sebenarnya. Sedangkan untuk melihat akurasi, sensitivitas dan spesifisitas dari sistem ini dilakukan dengan memilih tombol *Accuration* pada sistem. Selanjutnya akan muncul perintah untuk memilih citra groundtruth yang sesuai dengan citra masukan. Pada gambar 3.11 dapat dilihat tampilan perancangan antar muka dari aplikasi ini.



**Gambar 3.11 Rancangan antar muka perangkat lunak segmentasi lesi merah pada citra fundus retina mata berwarna menggunakan pendekatan metode morfologi**

## **BAB IV**

### **IMPLEMENTASI**

Bab implementasi berisi pembahasan mengenai implementasi perangkat lunak berdasarkan perancangan yang telah dibuat. Tahap perancangan merupakan tahap dasar dari implementasi perangkat lunak.

#### **4.1 Lingkungan Implementasi**

Spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam implementasi ini ditampilkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1 Lingkungan Perancangan Perangkat Lunak**

Perangkat	Spesifikasi
Perangkat keras	Prosesor: Intel® Core™ i3 CPU M 330 @ 2.13GHz Memori: 2.00 GB
Perangkat lunak	Sistem Operasi: Microsoft Windows 7 Ultimate 32-bit Perangkat Pengembang: MATLAB R2013a Perangkat Pembantu: Notepad++, Microsoft Excel 2013, Microsoft Word 2013

#### **4.2 Implementasi Proses**

Implementasi proses dilakukan berdasarkan perancangan proses yang sudah dijelaskan pada bab analisis dan perancangan.

##### **4.2.1 Implementasi Fungsi Utama**

Fungsi utama yang digunakan pada perangkat lunak ini adalah fungsi gui.m. pada fungsi tersebut terdapat beberapa proses pengolahan data citra yang terdiri dari pengambilan data citra

masukan, proses *preprocessing* citra, proses segmentasi citra, proses perbaikan segmentasi citra dan perhitungan akurasi, *sensitivitas* dan *spesifisitas* sistem. Implementasi pengambilan data citra masukan ditunjukkan pada Kode Sumber 4.1.

1.	<code>function</code> varargout = gui(varargin)
2.	<code>.....</code>
3.	<code>function</code> browsebutton_Callback(hObject, eventdata, handles)
4.	<code>[file_name, path_name] = uigetfile({'*.bmp'; '*.jpg'; '*.jpeg'; '*.png'}, 'Browse file (s)');</code>
5.	<code>figure_input = imread([path name, file name]);</code>
6.	<code>if</code> isequal(file_name, 0)
7.	<code>disp('User selected Cancel')</code>
8.	<code>else</code>
9.	<code>disp(['User selected = ', fullfile(path_name, file_name)]);</code>
10.	<code>end</code>
11.	<code>figure_res = imresize (figure_input, [480 640]);</code>
12.	<code>handles.filename = file_name;</code>
13.	<code>handles.pathname = path_name;</code>
14.	<code>handles.figure_res = figure_res;</code>
15.	<code>guidata(hObject, handles);</code>

#### **Kode Sumber 4.1 Pembacaan citra masukan awal**

Pada Kode Sumber 4.1 dapat dilihat implementasi proses pengambilan data citra masukan. Citra masukan berukuran  $1500 \times 1152$  yang kemudian akan *resize* menjadi  $640 \times 480$ . Setelah mendapatkan data citra masukan dengan hasil *resize* kemudian akan dilakukan tahap *preprocessing* citra.

#### 4.2.2 Implementasi Tahap *Preprocessing* citra

Implementasi tahap *preprocessing* citra pada sistem ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan metode morfologi. Hasil akhir dari tahap ini berupa citra yang telah mengalami proses perbaikan awal sehingga diharapkan proses segmentasi dapat berjalan optimal. Tahap *preprocessing* ini terdiri dari beberapa proses seperti yang telah dijelaskan pada subbab 3.3.1. Berikut ini adalah implementasi dari proses *green channel* ditunjukkan pada Kode Sumber 4.2.

16.	<code>figure_res = handles.figure_res;</code>
17.	<code>%greenchannel</code>
18.	<code>a = im2double(figure_res);</code>
19.	<code>green = a(:, :, 2);</code>
20.	<code>set(handles.axes1, 'HandleVisibility', 'ON');</code>
21.	<code>axes(handles.axes1);</code>
22.	<code>imshow(green)</code>
23.	<code>handles.green = green;</code>
24.	<code>set(handles.axes1, 'HandleVisibility', 'OFF');</code>

**Kode Sumber 4.2 Kode untuk mengubah citra menjadi citra *green channel***

Proses di atas menunjukkan langkah pengambilan *green channel* dari citra masukan yang telah *dirsize*. Proses selanjutnya adalah proses perbaikan *local contrast*. Proses ini dilakukan dengan metode CLAHE. Proses CLAHE pada sistem ini menggunakan fungsi `adapthisteq()` yang tersedia pada MATLAB. Proses CLAHE ditunjukkan pada Kode Sumber 4.3. Pada proses perbaikan *local contrast* digunakan nilai *cliplimit* sebesar 0,85, ukuran *tile* yang digunakan adalah 8×8 dan banyak *bins* pada histogram untuk memproses tiap *tile* adalah 256.

25.	<code>%clahe</code>
26.	<code>figure_clahe = adapthisteq(green, 'ClipLimit', 0.85);</code>
27.	<code>set(handles.axes2, 'HandleVisibility', 'O N');</code>
28.	<code>axes(handles.axes2);</code>
29.	<code>imshow (figure_clahe)</code>
30.	<code>handles.figure_clahe = figure_clahe ;</code>
31.	<code>set(handles.axes2, 'HandleVisibility', 'O FF');</code>
32.	<code>guidata(hObject, handles);</code>

**Kode Sumber 4.3** Kode untuk perbaikan *local contrast*

### 4.2.3 Implementasi Tahap Segmentasi

Implementasi tahap segmentasi citra pada sistem ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan metode matematika morfologi. Hasil akhir dari tahap ini berupa citra biner dengan objek lesi merah bernilai 1 dan *background* bernilai 0 yang masih mengandung derau dan residu dari pembuluh darah. Tahap segmentasi ini terdiri dari beberapa proses seperti yang telah dijelaskan pada subbab 3.3.2. Kode Sumber 4.4 merupakan implementasi dari proses *Alternating sequential filter* pada tahap segmentasi citra.

33.	<code>function segmentbutton_Callback(hObject, eventdata, handles)</code>
34.	<code>....</code>
35.	<code>figure_clahe = handles.figure_clahe ;</code>
36.	<code>green = handles.green;</code>
37.	<code>%Alternating Sequential Filter</code>
38.	<code>[asf] = alternatingseqfil(figure_clahe, 2);</code>

39.	<code>set(handles.axes7, 'HandleVisibility', 'ON');</code>
40.	<code>axes(handles.axes7);</code>
41.	<code>imshow (asf)</code>
42.	<code>handles.asf = asf;</code>
43.	<code>set(handles.axes7, 'HandleVisibility', 'OFF');</code>
44.	<code>Z = imsubtract(asf, figure_clahe);</code>

**Kode Sumber 4.4 Kode untuk *Alternating sequential filter***

Pada Kode Sumber 4.5 dapat dilihat implementasi dari proses *Alternating sequential filter*. Proses ini menggunakan ukuran SE  $r$  yang dilipat gandakan pada setiap iterasinya. SE tersebut digunakan untuk proses *opening* dan *closing* dengan  $i$  kali iterasi.

45.	<code>function [A] = alternatingseqfil (input, iterasi)</code>
46.	<code>r = 6;</code>
47.	<code>A = input;</code>
48.	<code>for i = 1:iterasi</code>
49.	<code>    se = strel('disk', r, 0);</code>
50.	<code>    A = imopen(A, se);</code>
51.	<code>    A = imclose(A, se);</code>
52.	<code>    r = r*2;</code>
53.	<code>end</code>

**Kode Sumber 4.5 Kode dari fungsi *alternatingseqfil.m***

Setelah proses *Alternating sequential filter* dilakukan, proses selanjutnya adalah proses pencarian nilai *H-minima transform*. Implementasi dari proses ini ditunjukkan pada Kode Sumber 4.6. Citra keluaran hasil dari *H-minima transform* merupakan citra tanpa *Optic disk* dan *Exudates* yang nantinya akan dijadikan citra masukan pada proses deteksi dan eliminasi *Fovea*.

54.	<code>%H-minima Transform (Eliminasi optic disk dan exudates)</code>
55.	<code>figure_hamin = imhmin(Z,0.08,4);</code>
56.	<code>set(handles.axes8,'HandleVisibility','OFF');</code>
57.	<code>axes(handles.axes8);</code>
58.	<code>imshow (figure_hamin)</code>
59.	<code>handles.figure_hamin = figure_hamin;</code>
60.	<code>set(handles.axes8,'HandleVisibility','OFF');</code>

**Kode Sumber 4.6 Kode untuk *H-minima transform***

Implementasi proses dari deteksi dan eliminasi *Fovea* dapat dilihat pada Kode Sumber 4.7. Pada proses ini ditentukan koordinat x, y dari daerah ROI *Fovea*.

61.	<code>%deteksi dan eliminasi fovea</code>
62.	<code>x = [240 240 370 370];</code>
63.	<code>y = [180 280 280 180];</code>
64.	<code>roi = roifill(figure_hamin,x,y);</code>
65.	<code>figure_binary = roi &gt; 0.005;</code>
66.	<code>set(handles.axes9,'HandleVisibility','OFF');</code>
67.	<code>axes(handles.axes9);</code>
68.	<code>imshow(figure_binary)</code>
69.	<code>handles.figure_binary = figure_binary;</code>

**Kode Sumber 4.7 Kode untuk deteksi dan eliminasi *Fovea***

Proses deteksi dan eliminasi *Fovea* pada Kode Sumber 4.7 menggunakan fungsi `roifill()` yang tersedia pada MATLAB. Setelah dilakukan proses eliminasi *Fovea* dengan `roifill`, proses selanjutnya adalah mengubah citra keluaran ke dalam bentuk biner dengan *global thresholding*. Setelah mendapatkan citra biner dari

proses *thresholding*, langkah selanjutnya adalah proses segmentasi pembuluh darah.

70.	<code>function [B] = alternatimgseqfil2 (input)</code>
71.	<code>B = input;</code>
72.	<code>for i = 1</code>
73.	<code>se = strel('disk', 3, 0);</code>
74.	<code>B = imopen(B, se);</code>
75.	<code>B = imclose(B, se);</code>
76.	<code>end</code>

#### **Kode Sumber 4.8 Kode untuk proses Opening dan Closing**

Pada Kode Sumber 4.8 dapat dilihat implementasi dari langkah awal dalam proses segmentasi pembuluh darah. Langkah awal tersebut merupakan proses pembuatan mask untuk segmentasi pembuluh darah. proses tersebut terdiri dari operasi Opening dan Closing yang dilakukan dengan dalam satu kali iterasi dengan bentuk SE disk berukuran 3 piksel. Langkah selanjutnya adalah proses perbaikan citra dengan pendekatan metode morfologi. Implementasi proses ini dapat dilihat pada Kode Sumber 4.9.

77.	<code>%mengeliminasi variasi pada background</code>
78.	<code>W = imsubtract(asf2,figure_clahe);</code>
79.	<code>%regional minima (marker)</code>
80.	<code>figure_regmin2 = imregionalmin(green,4);</code>
81.	<code>figure_reg = immultiply(figure_regmin2,green);</code>
82.	<code>figure_recons_dill = imreconstruct(figure_reg,green,4);</code>
83.	<code>%morphological contrast enhancement</code>
84.	<code>sel = strel('ball',12,100,4);</code>

85.	<code>figure_enhance = imsubtract(imadd(figure_recons_dill,imt ophat(figure_recons_dill,se1)), imbothat(figure_recons_dill,se1));</code>
86.	<code>%gaussian low pass filter 2D</code>
87.	<code>gauss = fspecial('gaussian', 15, 2.5);</code>
88.	<code>figure_gaussian = imfilter(double(figure_enhance),gauss,' replicate');</code>
89.	<code>%perbaikan local minima</code>
90.	<code>se2 = strel('diamond',10);</code>
91.	<code>figure_bothat = imbothat(figure_gaussian,se2);</code>

**Kode Sumber 4.9 Kode untuk perbaikan citra pada tahap segmentasi pembuluh darah**

Pada Kode Sumber 4.9, dapat dilihat beberapa langkah dalam proses perbaikan citra dengan pendekatan morfologi di antaranya adalah: *Regional minima*, *Morphological reconstruction by dilation*, *Morphological contrast enhancement*, *2D Gaussian low pass filter* dan *Bottom-Hat transform*. Citra keluaran dari proses ini merupakan citra hasil ekstraksi daerah lokal minima yang merupakan pembuluh darah menggunakan *Bottom-Hat transform*. Proses selanjutnya adalah perhitungan *Supremum of Openings* untuk mengidentifikasi struktur pembuluh darah yang memanjang. Implementasi dari proses ini dapat dilihat pada Kode Sumber 4.10.

92.	<code>function [f_sum] = supremumopenings (f9)</code>
93.	<code>% 24 structuring element dari mata kiri dan mata kanan</code>
94.	<code>%----- (15...90) -----</code>
95.	<code>se1 = strel('line',120,15);</code>
96.	<code>se2 = strel('line',120,30);</code>

97.	se3 = strel('line',120,45);
98.	se4 = strel('line',120,60);
99.	se5 = strel('line',120,75);
100.	se6 = strel('line',120,90);
101.	%----- (-15...-90) -----
102.	se7 = strel('line',120,-15);
103.	se8 = strel('line',120,-30);
104.	se9 = strel('line',120,-45);
105.	se10 = strel('line',120,-60);
106.	se11 = strel('line',120,-75);
107.	se12 = strel('line',120,-90);
108.	%----- (105...180) -----
109.	se13 = strel('line',120,105);
110.	se14 = strel('line',120,120);
111.	se15 = strel('line',120,135);
112.	se16 = strel('line',120,150);
113.	se17 = strel('line',120,165);
114.	se18 = strel('line',120,180);
115.	%----- (195...270) -----
116.	se19 = strel('line',120,195);
117.	se20 = strel('line',120,210);
118.	se21 = strel('line',120,225);
119.	se22 = strel('line',120,240);
120.	se23 = strel('line',120,255);
121.	se24 = strel('line',120,270);
122.	%----- opening(15...90) -----
123.	f 1 = imopen(f9, se1);
124.	f 2 = imopen(f9, se2);
125.	f 3 = imopen(f9, se3);
126.	f 4 = imopen(f9, se4);
127.	f 5 = imopen(f9, se5);
128.	f 6 = imopen(f9, se6);

129	<code>%----- opening(-15...-90) -----</code>
130	<code>f 7 = imopen(f9, se7);</code>
131	<code>f 8 = imopen(f9, se8);</code>
132	<code>f 9 = imopen(f9, se9);</code>
133	<code>f 10 = imopen(f9, se10);</code>
134	<code>f 11 = imopen(f9, se11);</code>
135	<code>f 12 = imopen(f9, se12);</code>
136	<code>%----- opening(105...180) -----</code>
137	<code>f 13 = imopen(f9, se13);</code>
138	<code>f 14 = imopen(f9, se14);</code>
139	<code>f 15 = imopen(f9, se15);</code>
140	<code>f 16 = imopen(f9, se16);</code>
141	<code>f 17 = imopen(f9, se17);</code>
142	<code>f 18 = imopen(f9, se18);</code>
143	<code>%----- opening(195...270) -----</code>
144	<code>f 19 = imopen(f9, se19);</code>
145	<code>f 20 = imopen(f9, se20);</code>
146	<code>f 21 = imopen(f9, se21);</code>
147	<code>f 22 = imopen(f9, se22);</code>
148	<code>f 23 = imopen(f9, se23);</code>
149	<code>f 24 = imopen(f9, se24);</code>
150	<code>f_sum = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 + f_6 + f_7 + f_8 + f_9 + f_10 + f_11 + f_12 + f_13 + f_14 + f_15 + f_16 + f_17 + f_18 + f_19 + f_20 + f_21 + f_22 + f_23 + f_24;</code>
151	<code>end</code>

**Kode Sumber 4.10 Kode untuk perhitungan *Supremum of Openings***

Perhitungan *Supremum of Openings* ini menggunakan 24 linear SE dengan panjang 120 piksel. Operasi ini menggunakan rotasi  $R\theta = \{15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ; -15^\circ, -30^\circ, -45^\circ, -60^\circ, -75^\circ, -90^\circ\}$  untuk mendeteksi pembuluh darah superior dan inferior

pada retina mata kanan dan  $L\theta = \{105^\circ, 120^\circ, 135^\circ, 150^\circ, 165^\circ, 180^\circ, 195^\circ, 210^\circ, 225^\circ, 240^\circ, 255^\circ, 270^\circ\}$  untuk mendeteksi pembuluh darah superior dan inferior pada retina mata kiri. Kemudian dilakukan operasi *opening* sebanyak 24 kali menggunakan 24 SE yang telah ditentukan. Langkah terakhir dari proses ini adalah menjumlahkan seluruh hasil *opening*. Proses selanjutnya adalah *Morphological reconstruction by dilation* menggunakan citra *mask* dari hasil *opening* dan *closing* pada proses perbaikan citra dan citra *marker* dari hasil perhitungan *Supremum of Openings*. Implementasi dari proses ini dapat dilihat pada Kode Sumber 4.11.

152	<code>%reconstruction 67ig dilation</code>
153	<code>figure_recons_dil2 = recondsdilation (W, figure_so);</code>
154	<code>figure_binary2 = figure_recons_dil2 &gt; 0.0005;</code>
155	<code>set(handles.axes10, 'HandleVisibility', ' ON');</code>
156	<code>axes(handles.axes10);</code>
157	<code>imshow(figure_binary2)</code>
158	<code>handles.figure_binary2 = figure_binary2;</code>
159	<code>set(handles.axes10, 'HandleVisibility', ' OFF');</code>

**Kode Sumber 4.11 Kode untuk *Morphological Reconstruction by Dilation dan thresholding***

Pada proses tersebut, dilakukan pemanggilan fungsi dari file *recondsdilation.m*. setelah didapatkan citra hasil dari *Morphological reconstruction by dilation* dengan hasil perkiraan objek pembuluh darah, dilakukan proses binerisasi objek pembuluh darah. Hasil dari proses *Morphological reconstruction by dilation* digunakan sebagai citra masukan pada proses binerisasi pembuluh darah. Proses binerisasi ini dilakukan menggunakan

metode *global thresholding*. Implementasi dari proses *thresholding* objek pembuluh darah juga dapat dilihat pada Kode Sumber 4.11.

160	<code>%f11:vessel elimination</code>
161	<code>minvesel = imsubtract (figure_binary, figure_binary2);</code>
162	<code>set(handles.axes11, 'HandleVisibility', ' ON');</code>
163	<code>axes(handles.axes11);</code>
164	<code>imshow(minvesel)</code>
165	<code>handles.minvesel = minvesel;</code>
166	<code>set(handles.axes11, 'HandleVisibility', ' OFF');</code>

#### **Kode Sumber 4.12 Kode untuk eliminasi pembuluh darah**

Setelah mendapatkan citra biner dari pembuluh darah, proses selanjutnya adalah proses segmentasi lesi merah dengan mengeliminasi citra hasil segmentasi pembuluh darah dari citra biner hasil *thresholding* pertama. Implementasi dari proses ini dapat dilihat pada Kode Sumber 4.12.

#### **4.2.4 Implementasi Tahap Perbaikan segmentasi**

Implementasi tahap perbaikan segmentasi citra pada sistem ini terdiri dari beberapa proses yang berfungsi untuk memperbaiki hasil citra biner keluaran dari proses segmentasi. Proses pertama adalah melakukan perbaikan objek dari citra hasil segmentasi. Implementasi proses tersebut dapat dilihat pada Kode Sumber 4.13.

Proses ini menggunakan fungsi *filling* yang telah disediakan oleh MATLAB. Kemudian dilakukan opening pada citra keluaran proses *filling* dengan SE *diamond* dengan ukuran piksel 1. Citra keluaran dari proses tersebut adalah citra biner dengan objek yang telah diperbaiki.

167	<code>function postbutton_Callback(hObject, eventdata, handles)</code>
168	<code>minvesel = handles.minvesel;</code>
169	<code>%perbaiki citra akhir</code>
170	<code>fill = imfill(minvesel);</code>
171	<code>%menghilangkan noise</code>
172	<code>se3 = strel('diamond',1);</code>
173	<code>figure open = imopen(fill, se3);</code>

**Kode Sumber 4.13 Kode untuk perbaikan lesi merah pada citra biner**

Proses selanjutnya adalah penghapusan residu dari pembuluh darah dan derau pada citra biner keluaran proses perbaikan objek. Implementasi dari proses tersebut dapat dilihat pada Kode Sumber 4.14.

174	<code>%menghilangkan sisa pembuluh</code>
175	<code>label = bwlabel(figure open);</code>
176	<code>figure_regprop = regionprops(label, 'Eccentricity', 'Area');</code>
177	<code>e = [figure_regprop.Eccentricity];</code>
178	<code>a = [figure_regprop.Area];</code>
179	<code>idx = find((e &lt; 0.90) &amp; (a &gt; 25));</code>
180	<code>shape = ismember(label, idx);</code>
181	<code>set(handles.axes12, 'HandleVisibility', 'ON');</code>
182	<code>axes(handles.axes12);</code>
183	<code>imshow(shape)</code>
184	<code>handles.shape = shape;</code>
185	<code>set(handles.axes12, 'HandleVisibility', 'OFF');</code>

**Kode Sumber 4.14 Kode untuk proses *Region properties***

Proses ini menggunakan fungsi *regionprops* dengan ekstraksi nilai *area* dan *eccentricity* dari tiap objek pada citra biner

masukan. Proses tersebut menghasilkan citra keluaran dengan objek yang mencakup kriteria dari batasan nilai *area* dan *eccentricity* yang telah ditentukan. Sehingga dapat mengurangi derau dan residu dari pembuluh darah

186	<code>%masking(menghilangkan area/objek di luar daerah retina)</code>
187	<code>mask = imread('fmask2.png');</code>
188	<code>im_mask = imresize (mask,[480 640]);</code>
189	<code>masking = immultiply(im_mask, shape);</code>
190	<code>set(handles.axes13, 'HandleVisibility', 'ON');</code>
191	<code>axes(handles.axes13);</code>
192	<code>imshow(masking)</code>
193	<code>handles.masking = masking;</code>
194	<code>set(handles.axes13, 'HandleVisibility', 'OFF');</code>

#### **Kode Sumber 4.15 Kode untuk proses *Masking***

Proses terakhir pada tahap *perbaikan segmentasi* adalah proses *masking* menggunakan *mask* citra fundus retina mata yang telah disediakan oleh dataset DIARETDB1. Pada proses tersebut diimplementasikan operasi perkalian antara citra *mask* dengan citra keluaran akhir hasil *regionprops*. Implementasi dari proses ini dapat dilihat pada Kode Sumber 4.15.

#### **4.2.5 Implementasi Perhitungan tingkat kebenaran hasil segmentasi**

Perhitungan tingkat kebenaran hasil segmentasi meliputi pengukuran persentase nilai sensitivitas, spesifisitas dan akurasi. Implementasi perhitungan tingkat kebenaran hasil segmentasi dari sistem dapat dilihat pada Kode Sumber 4.16. Pada Kode Sumber 4.16 dilakukan pengambilan citra masukan yang akan dijadikan citra *groundtruth*.

195	<code>function</code> <code>akurasibutton_Callback(hObject,</code> <code> eventdata, handles)</code>
196	<code>[file_name, path_name] =</code> <code>uigetfile({'*.bmp'; '*.jpg'; '*.jpeg'; '*.</code> <code>png'}, 'Browse file (s)');</code>
197	<code>bw = im2bw(imread</code> <code>([path_name, file_name]));</code>
198	<code>if isequal(file_name, 0)</code>
199	<code>disp('User selected Cancel')</code>
200	<code>Elbe</code>
201	<code>disp(['User selected = ',</code> <code>fullfile(path_name, file_name)]);</code>
202	<code>And</code>
203	<code>im1= imresize (bw, [480 640]);</code>
204	<code>handles.filename = file_name;</code>
205	<code>handles.pathname = path_name;</code>
206	<code>handles.im1 = im1;</code>

**Kode Sumber 4.16 Kode untuk perhitungan tingkat kebenaran (bagian 1)**

Citra *groundtruth* masukan kemudian di resize ke dalam ukuran  $480 \times 640$ . Langkah selanjutnya adalah membandingkan nilai true negative, false positive, true positive, false negative dari citra *groundtruth* dengan citra keluaran akhir hasil segmentasi lesi merah.

207	<code>[m,n] = size (masking);</code>
208	<code>tp = 0;</code>
209	<code>tn = 0;</code>
210	<code>fp = 0;</code>
211	<code>fn = 0;</code>
212	<code>for i = 1:m</code>
213	<code>for j = 1:n</code>

214	<code>if</code> <code>masking(i,j)== 1</code> <code>&amp;&amp;</code> <code>iml(i,j)== 1</code>
215	<code>tp = tp + 1;</code>
216	<code>elseif</code> <code>masking(i,j)== 0</code> <code>&amp;&amp;</code> <code>iml(i,j)== 0</code>
217	<code>tn = tn + 1;</code>
218	<code>elseif</code> <code>masking(i,j)== 0</code> <code>&amp;&amp;</code> <code>iml(i,j)== 1</code>
219	<code>fp = fp + 1;</code>
220	<code>elseif</code> <code>masking(i,j)== 1</code> <code>&amp;&amp;</code> <code>iml(i,j)== 0</code>
221	<code>fn = fn + 1;</code>
222	<code>end</code>
223	<code>end</code>
224	<code>end</code>

**Kode Sumber 4.17 Kode untuk perhitungan tingkat kebenaran (bagian 2)**

Implementasi proses perbandingan nilai tersebut dapat dilihat pada Kode Sumber 4.17.

225	<code>akurasi = ((tp+tn)/(tp+tn+fp+fn))*100;</code>
226	<code>str = int2str(akurasi);</code>
227	<code>set(handles.textakurasi, 'string', str);</code>
228	<code>sensitivitas = (tp/(tp+fn))*100;</code>
229	<code>str = int2str(sensitivitas);</code>
230	<code>set(handles.textsens, 'string', str);</code>
231	<code>spesifisitas = (tn/(tn+fp))*100;</code>
232	<code>str = int2str(spesifisitas);</code>
233	<code>set(handles.textspes, 'string', str);</code>
234	<code>guidata(hObject, handles);</code>

**Kode Sumber 4.18 Kode untuk perhitungan tingkat kebenaran (bagian 3)**

Langkah selanjutnya setelah membandingkan nilai true positive, true negative, false positive dan false negative dari citra *groundtruth* dengan citra hasil segmentasi lesi merah. Hasil perbandingan tersebut akan digunakan untuk menghitung persentase sensitivitas, spesifisitas dan akurasi. Rumus dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada persamaan 2.24, 2.25 dan 2.26. Implementasi perhitungan tersebut dapat dilihat pada Kode Sumber 4.18.

## **BAB V**

### **UJI COBA DAN EVALUASI**

Bab uji coba dan evaluasi berisi mengenai hasil uji coba dan evaluasi terhadap perangkat lunak dari implementasi segmentasi lesi merah pada citra fundus retina mata berwarna menggunakan pendekatan metode morfologi.

#### **5.1 Lingkungan Uji Coba**

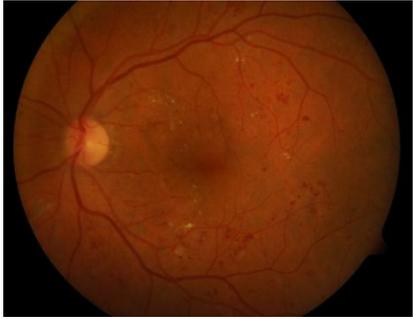
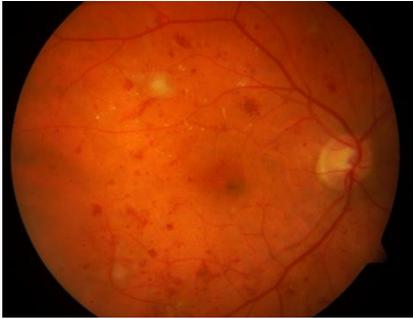
Lingkungan uji coba yang digunakan dalam pembuatan Tugas Akhir ini meliputi perangkat lunak dan perangkat keras yang digunakan untuk melakukan uji coba perangkat lunak dari implementasi segmentasi lesi merah pada citra fundus retina mata berwarna menggunakan pendekatan metode morfologi. Lingkungan uji coba merupakan komputer tempat uji coba sistem yang spesifikasinya dijelaskan sebagai berikut:

1. Perangkat Keras
  - a. Intel(R) Core(TM)i3-330M @ 2.13GHz
  - b. Memori 2 GB
  - c. Tipe Sistem Operasi 32-bit
2. Perangkat Lunak
  - a. Sistem Operasi Microsoft Windows 7 Ultimate
  - b. Perangkat Pengembang MATLAB R2013a

#### **5.2 Data Uji Coba**

Data yang digunakan dalam uji coba perangkat lunak dari implementasi segmentasi lesi merah pada citra fundus retina mata berwarna menggunakan pendekatan metode morfologi adalah citra fundus retina mata berwarna yang diambil dengan 50 derajat kamera fundus dari dataset DIARETDB1 [13]. Citra untuk data uji coba merupakan citra RGB dengan ukuran  $640 \times 480$  piksel. Untuk uji coba digunakan citra masukan sebanyak 25 citra. Citra untuk data uji coba dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2. Untuk lebih jelasnya citra-citra masukan tersebut dapat dilihat pada bagian Lampiran A.1 dan A.2.

**Tabel 5.1** Citra Uji Coba Kinerja Perangkat Lunak (bagian 1)

No	Citra fundus retina mata Berwarna	Nama Citra
1		image010
2		image011
3		image020

**Tabel 5.2** Citra Uji Coba Kinerja Perangkat Lunak (bagian 2)

<b>No</b>	<b>Citra fundus retina mata Berwarna</b>	<b>Nama Citra</b>
4		image022
5		image025
6		image064

### 5.3 Skenario Uji Coba

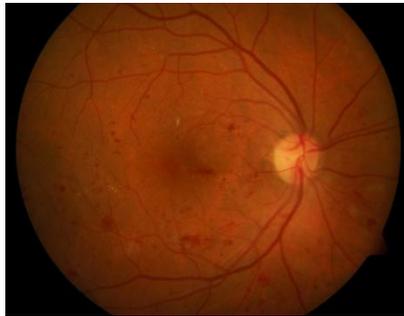
Pada bagian ini dijelaskan mengenai skenario uji coba yang telah dilakukan. Uji coba dilakukan dengan menghitung tingkat kebenaran dari hasil segmentasi sistem dengan persamaan sensitivitas, spesifisitas dan akurasi yang dapat dilihat pada persamaan 2.24, 2.25 dan 2.26. Beberapa skenario uji coba yang telah dilakukan, diantaranya yaitu:

1. Perbandingan hasil akurasi, sensitivitas dan spesifisitas berdasarkan jumlah iterasi yang berbeda-beda pada proses *Alternating sequential filter*.
2. Perbandingan hasil akurasi, sensitivitas dan spesifisitas berdasarkan nilai *threshold* yang berbeda-beda pada proses binerisasi citra hasil eliminasi *fovea*.
3. Perbandingan hasil akurasi, sensitivitas dan spesifisitas berdasarkan perbedaan ukuran SE yang akan digunakan untuk proses perbaikan citra dengan *Bottom-Hat transform*.
4. Perbandingan hasil akurasi, sensitivitas dan spesifisitas berdasarkan nilai standar deviasi yang berbeda-beda pada proses *2D Gaussian low pass filter*.
5. Perbandingan hasil akurasi, sensitivitas dan spesifisitas berdasarkan nilai *threshold* yang berbeda-beda pada proses binerisasi citra hasil segmentasi pembuluh darah.

### 5.4 Skenario Pengujian 1: Perbandingan Jumlah Iterasi Pada Proses *Alternating sequential filter*

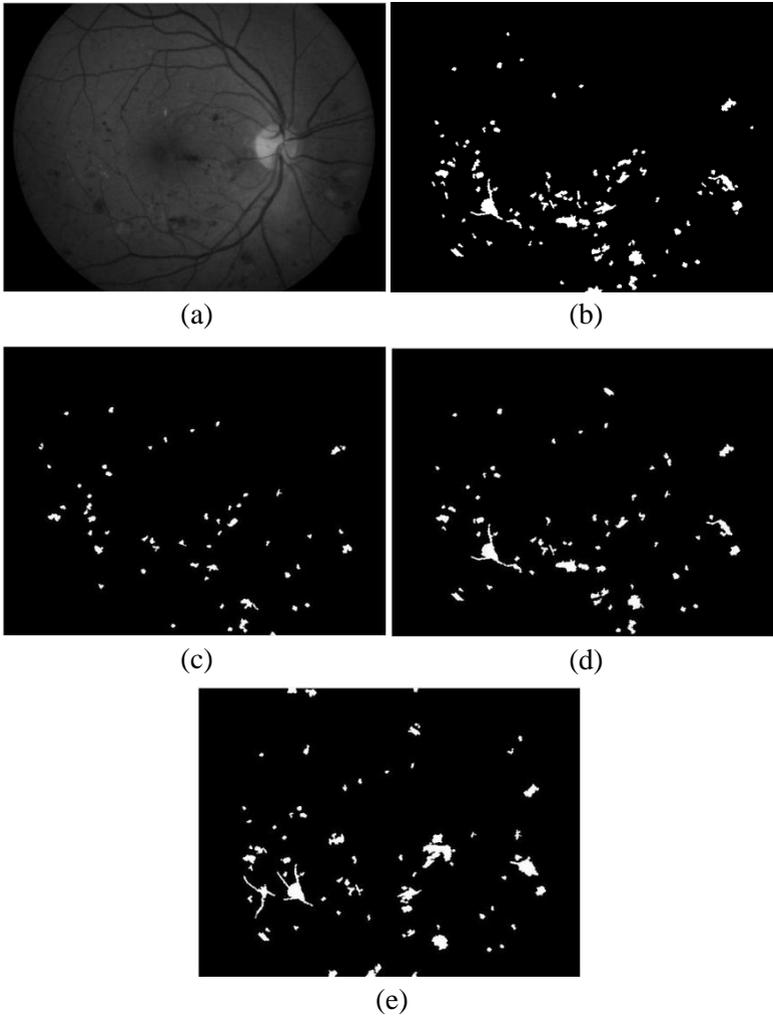
Pada skenario ini akan dilakukan perbandingan nilai akurasi dari citra hasil segmentasi, nilai sensitivitas, dan nilai spesifisitasnya berdasarkan banyaknya iterasi yang diberikan pada proses *Alternating sequential filter* (ASF). Implementasi dari proses ASF dapat dilihat pada persamaan 3.2. Uji coba ini dilakukan pada 8 citra fundus berwarna dari dataset DIARETDB1.

Hasil uji coba dari skenario pengujian 1 beserta nilai akurasi, sensitivitas dan spesifisitas lebih lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A.3 sampai Lampiran A.8. Perbandingan dan nilai rata – rata dari akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas pada seluruh citra uji berdasarkan skenario pengujian 1 dapat dilihat pada Tabel 5.5. Berikut ini akan ditampilkan contoh citra masukan untuk skenario pengujian 1 beserta hasil perbandingan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas dari citra keluaran. Contoh citra masukan untuk skenario pengujian 1 yang akan ditampilkan adalah citra image010.png yang dapat dilihat pada Gambar 5.1.



**Gambar 5.1 Citra masukan image010.png untuk skenario pengujian 1**

Pada skenario ini, dilakukan iterasi sebanyak 1, 2 dan 3 kali pada proses *Alternating sequential filter* (ASF) untuk citra masukan image010.png. Pada Gambar 5.2 dapat dilihat perbandingan dari citra *green channel*, citra *groundtruth* dengan citra keluaran hasil segmentasi dari skenario pengujian 1 pada citra masukan image010.png untuk tiap iterasinya. Hasil perbandingan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas dari citra masukan image010.png dengan skenario pengujian 1 dapat dilihat pada Tabel 5.3. Pada Tabel 5.3 dapat dilihat dengan iterasi sebanyak 2 kali menghasilkan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas yang paling optimal.

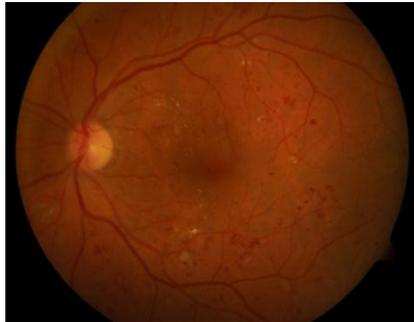


**Gambar 5.2 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 1 pada image010.png; (a) citra green channel (b) citra *groundtruth* (c) 1 kali iterasi ASF (d) 2 kali iterasi ASF (e) 3 kali iterasi ASF**

**Tabel 5.3 Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 1 Pada Citra image010.png**

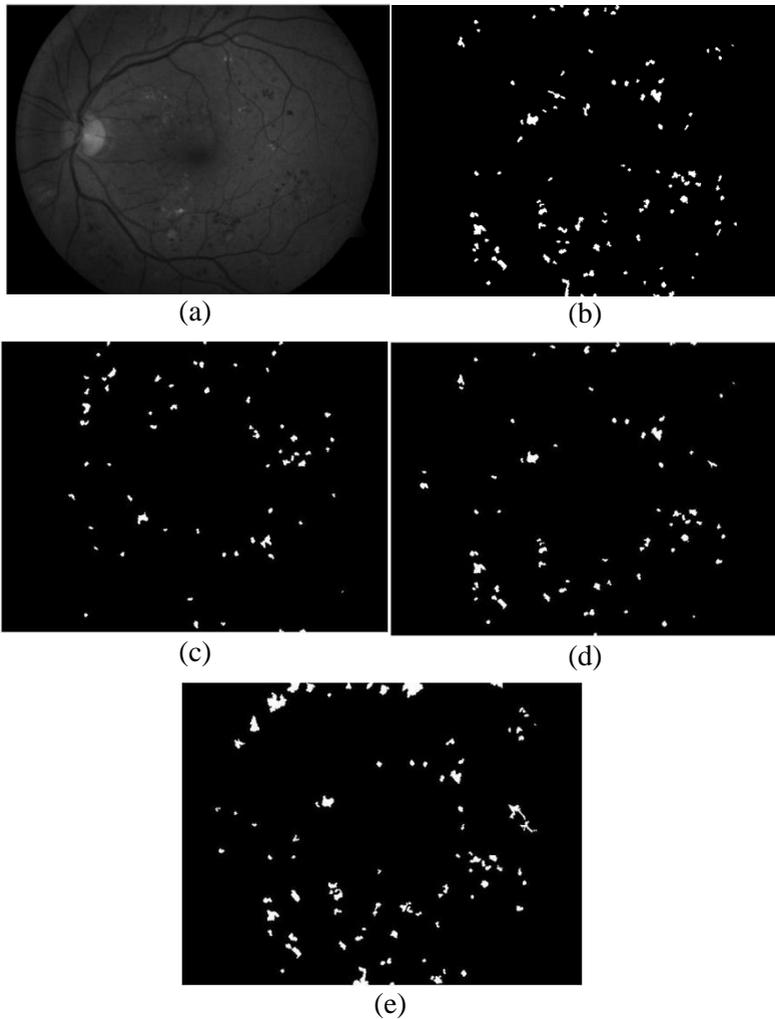
Citra Masukan	Banyak Iterasi	Sensitivitas (%)	Spesifisitas (%)	Akurasi (%)
image010	1	90,77	98,57	98,49
	<b>2</b>	<b>93,78</b>	<b>99,48</b>	<b>99,37</b>
	3	55,23	99,17	97,96

Contoh lainnya dari citra masukan yang akan ditampilkan pada skenario pengujian 1 adalah citra image011.png. Citra image011.png dapat dilihat pada Gambar 5.3.



**Gambar 5.3 Citra masukan image011.png untuk skenario pengujian 1**

Pada Gambar 5.4 dapat dilihat perbandingan dari citra *green channel*, citra *groundtruth* dengan citra keluaran hasil segmentasi dari skenario pengujian 1 pada citra masukan image011.png untuk tiap iterasinya. Hasil perbandingan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas dari citra masukan image011.png dengan skenario pengujian 1 dapat dilihat pada Tabel 5.4. Pada Tabel 5.4 iterasi sebanyak 2 kali juga menunjukkan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas yang paling optimal.



**Gambar 5.4** Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 1 pada image011.png; (a) citra green channel (b) citra *groundtruth* (c) 1 kali iterasi ASF (d) 2 kali iterasi ASF (e) 3 kali iterasi ASF

**Tabel 5.4 Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 1 Pada Citra image011.png**

Citra Masukan	Banyak Iterasi	Sensitivitas (%)	Spesifisitas (%)	Akurasi (%)
image011	1	88,30	99,34	99,23
	<b>2</b>	<b>91,47</b>	<b>99,60</b>	<b>98,50</b>
	3	50,24	99,64	98,52

Pada Tabel 5.5 dapat dilihat bahwa banyak iterasi pada proses *Alternating sequential filter* dapat mempengaruhi tingkat kebenaran dari hasil segmentasi lesi merah. Semakin kecil nilai iterasi, maka bagian lesi merah yang tersegmentasi juga menjadi semakin kecil. Jikai nilai iterasi terlalu kecil, akan terdapat bagian-bagian tertentu pada lesi merah yang ikut terestimasi sebagai *background*. Hal ini disebabkan karena ukuran SE yg digunakan untuk mengestimasi background mendekati ukuran 6 piksel.

**Tabel 5.5 Hasil Rata-Rata Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 1**

Banyak Iterasi	Rata-Rata Sensitivitas (%)	Rata-Rata Spesifisitas (%)	Rata-Rata Akurasi (%)
1	77,52	98,91	98,68
<b>2</b>	<b>80,21</b>	<b>99,66</b>	<b>99,28</b>
3	42,73	99,53	97,83

Demikian juga apabila nilai iterasi semakin besar, maka bagian lesi merah yang tersegmentasi akan semakin besar. Jika nilai iterasi terlalu besar, akan terdapat bagian-bagian *background* yang terestimasi sebagai lesi merah. Hal ini disebabkan karena ukuran SE yg digunakan untuk mengestimasi background dilipat gandakan untuk tiap iterasinya dari ukuran asli sebesar 6 piksel. Sehingga dapat dilihat pada Tabel 5.5 berdasarkan 8 citra uji untuk

skenario pengujian 1, iterasi sebanyak 2 kali dapat memberikan rata-rata akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas yang paling optimal.

### **5.5 Skenario Pengujian 2: Perbandingan Nilai *Threshold* Pada Proses Binerisasi Citra Hasil Eliminasi *Fovea***

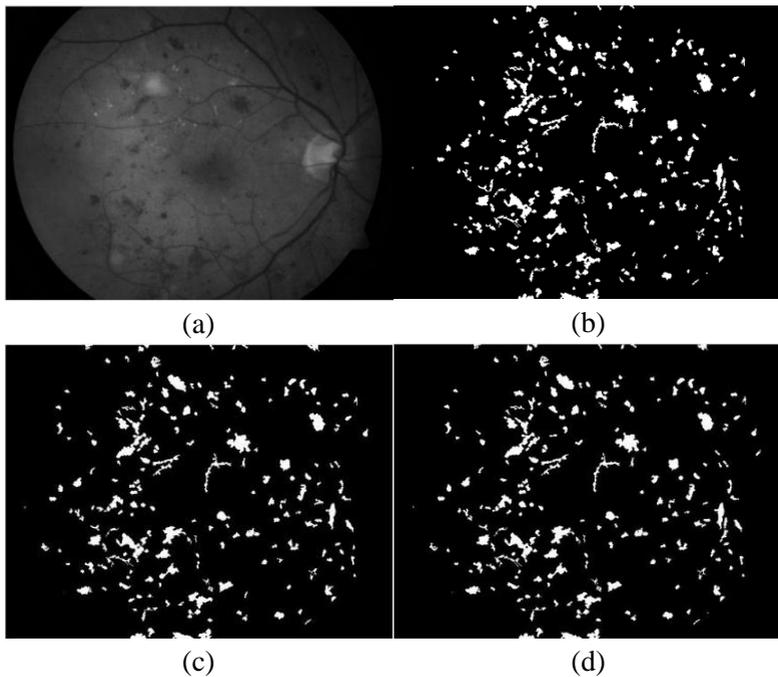
Pada skenario ini akan dilakukan perbandingan nilai akurasi dari citra hasil segmentasi, nilai sensitivitas, dan nilai spesifisitasnya berdasarkan nilai *threshold* yang berbeda-beda. Implementasi dari proses binerisasi ini dapat dilihat pada persamaan 3.6 dan 3.7. Pada skenario ini akan digunakan nilai *threshold* 0,001; 0,003; 0,005; 0,007; dan 0,009. Pengambilan nilai-nilai tersebut dilakukan secara manual berdasarkan pada rentang nilai piksel dari objek yang akan disegmentasi pada citra masukan yaitu antara 0-0,695. Uji coba ini dilakukan pada 8 citra fundus berwarna dari dataset DIARETDB1. Hasil uji coba dari skenario pengujian 2 beserta nilai akurasi, sensitivitas dan spesifisitas lebih lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A.9 sampai Lampiran A.14. Perbandingan dan nilai rata – rata dari akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas pada seluruh citra uji berdasarkan skenario pengujian 2 dapat dilihat pada Tabel 5.8.



**Gambar 5.5 Citra masukan image020.png untuk skenario pengujian 2**

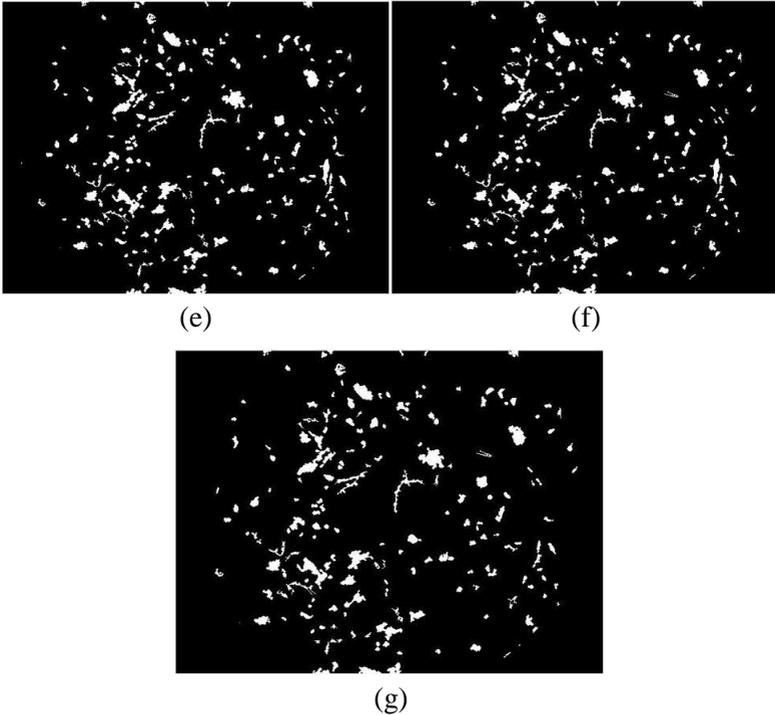
Berikut ini akan ditampilkan contoh citra masukan untuk skenario pengujian 2 beserta hasil perbandingan nilai akurasi,

sensitivitas, dan spesifisitas dari citra keluaran. Contoh citra masukan untuk skenario pengujian 2 yang akan ditampilkan adalah citra *image020.png* yang dapat dilihat pada Gambar 5.5. Pada Gambar 5.6 dan Gambar 5.7 dapat dilihat perbandingan dari citra *green channel*, citra *groundtruth* dengan citra keluaran hasil segmentasi dari skenario pengujian 2 pada citra masukan *image020.png* untuk tiap-tiap nilai *threshold*.



**Gambar 5.6** Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 2 pada *image020.png* (bagian 1); (a) citra *green channel* (b) citra *groundtruth* (c) hasil segmentasi dengan nilai *threshold* 0,001 (d) hasil segmentasi dengan nilai *threshold* 0,003

Hasil perbandingan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas dari citra masukan image020.png dengan skenario pengujian 2 dapat dilihat pada Tabel 5.6. Pada Tabel 5.6 dapat dilihat nilai *threshold* 0,005 menghasilkan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas yang paling optimal.



**Gambar 5.7** Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 2 pada image020.png (bagian 2); (e) hasil segmentasi dengan nilai *threshold* 0,005 (f) hasil segmentasi dengan nilai *threshold* 0,007 (g) hasil segmentasi dengan nilai *threshold* 0,009

**Tabel 5.6 Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 2 Pada Citra image020.png**

Citra Masukan	Nilai <i>Thres-hold</i>	Sensitivitas (%)	Spesifisitas (%)	Akurasi (%)
image020.png	0,001	92,10	99,27	99,67
	0,003	93,59	99,40	99,73
	<b>0,005</b>	<b>95,28</b>	<b>99,51</b>	<b>99,75</b>
	0,007	94,88	99,39	99,64
	0,009	95,33	99,24	99,44

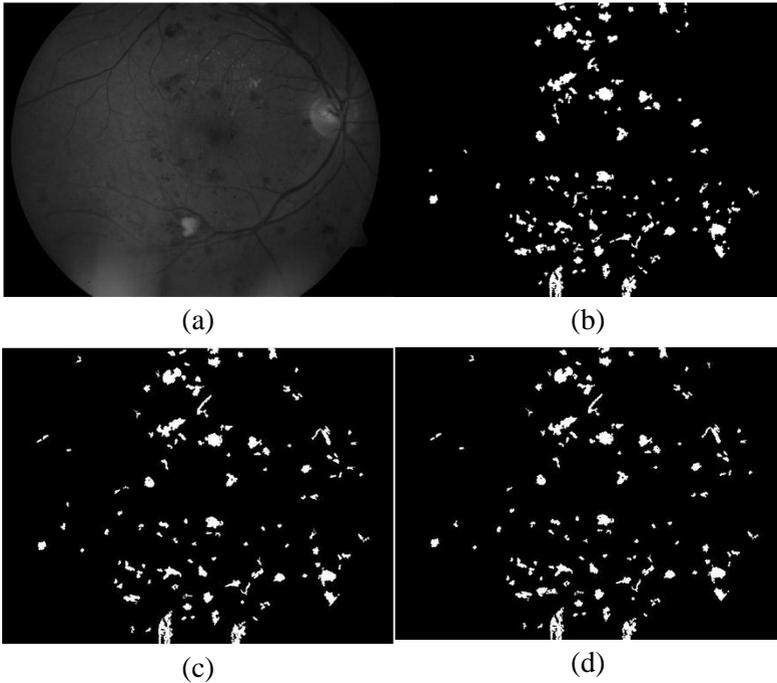
Contoh lainnya dari citra masukan yang akan ditampilkan pada skenario pengujian 2 adalah citra image022.png. Citra image022.png dapat dilihat pada Gambar 5.8. Pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 dapat dilihat perbandingan dari citra *green channel*, citra *groundtruth* dengan citra keluaran hasil segmentasi dari skenario pengujian 2 pada citra masukan image022.png untuk tiap-tiap nilai *threshold*.



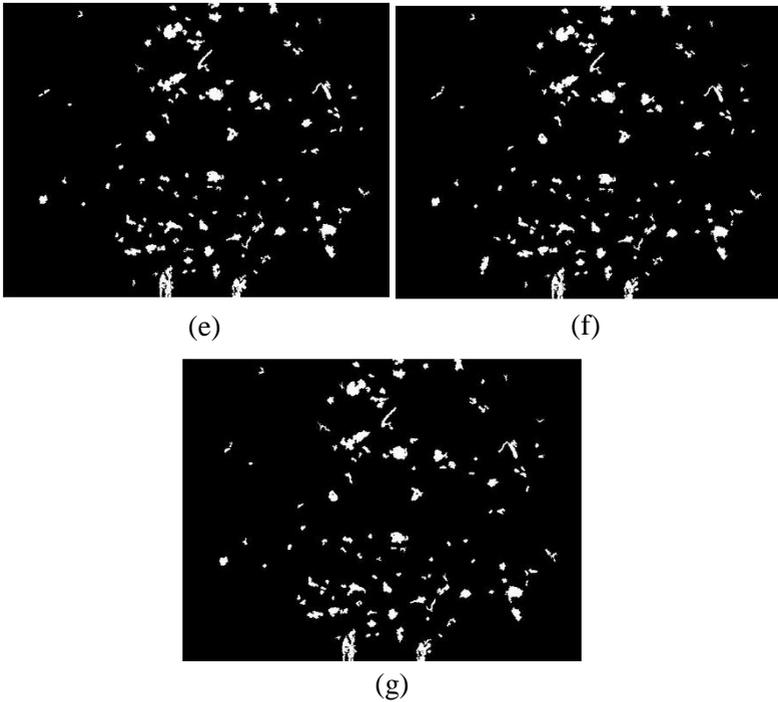
**Gambar 5.8 Citra masukan image022.png untuk skenario pengujian 2**

Hasil perbandingan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas dari citra masukan image022.png dengan skenario pengujian 2 dapat

dilihat pada Tabel 5.7. Pada Tabel 5.7 dapat dilihat nilai *threshold* 0,005 juga menghasilkan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas yang paling optimal.



**Gambar 5.9** Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 2 pada image022.png (bagian 1); (a) citra *green channel* (b) citra *groundtruth* (c) hasil segmentasi dengan nilai *threshold* 0,001 (d) hasil segmentasi dengan nilai *threshold* 0,003



**Gambar 5.10 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 2 pada image022.png (bagian 2); (e) hasil segmentasi dengan nilai *threshold* 0,005 (f) hasil segmentasi dengan nilai *threshold* 0,007 (g) hasil segmentasi dengan nilai *threshold* 0,009**

**Tabel 5.7 Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 2 Pada Citra image022.png**

Citra Masukan	Nilai <i>Threshold</i>	Sensitivitas (%)	Spesifisitas (%)	Akurasi (%)
image022.png	0,001	85,04	99,46	98,96
	0,003	86,94	99,47	99,04
	<b>0,005</b>	<b>89</b>	<b>99,47</b>	<b>99,12</b>
	0,007	88,42	99,42	99,06
	0,009	88,55	99,39	99,03

Pada Tabel 5.8 dapat dilihat bahwa perbedaan nilai *threshold* pada proses binerisasi citra hasil eliminasi *fovea* dapat mempengaruhi tingkat kebenaran dari hasil segmentasi lesi merah. Apabila nilai *threshold* terlalu kecil, derau yang bukan merupakan lesi merah pada citra masukan akan ikut tersegmentasi sebagai lesi merah. Sehingga hasil segmentasi lesi merah menjadi kurang optimal.

**Tabel 5.8 Hasil Rata-Rata Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 2**

Nilai <i>Threshold</i>	Rata-Rata Sensitivitas (%)	Rata-Rata Spesifisitas (%)	Rata-Rata Akurasi (%)
0,001	85,04	99,46	98,96
0,003	86,94	99,47	99,04
<b>0,005</b>	<b>89</b>	<b>99,47</b>	<b>99,12</b>
0,007	88,42	99,42	99,06
0,009	88,55	99,39	99,03

Demikian pula apabila nilai *threshold* terlalu besar, maka lesi merah yang memiliki nilai *threshold* kecil tidak dapat

tersegmentasi. Sehingga citra keluaran akhir hasil segmentasi lesi merah menjadi tidak optimal. Dapat dilihat pada Tabel 5.8 berdasarkan 8 citra uji untuk skenario pengujian 2, didapatkan rata-rata persentase hasil segmentasi dengan nilai akurasi, sensitivitas dan spesifisitas yang paling optimal pada nilai *threshold* 0,005.

### **5.6 Skenario Pengujian 3: Perbandingan Ukuran Structuring Element Pada Proses perbaikan citra dengan Bottom-Hat transform**

Pada skenario ini dilakukan perbandingan nilai akurasi dari citra hasil segmentasi, nilai sensitivitas dan nilai spesifisitas berdasarkan besar ukuran SE. Nilai SE yang akan digunakan merupakan SE untuk proses perbaikan citra dengan *Bottom-Hat transform*. Implementasi dari proses perbaikan citra dengan *Bottom-Hat transform* ini dapat dilihat pada persamaan 3.13. Pada skenario ini, akan digunakan ukuran SE 5, 10, 15, 20 dan 25. Uji coba ini dilakukan pada 9 citra fundus berwarna dari dataset DIARETDB1.



**Gambar 5.11 Citra masukan image025.png untuk skenario pengujian 3**

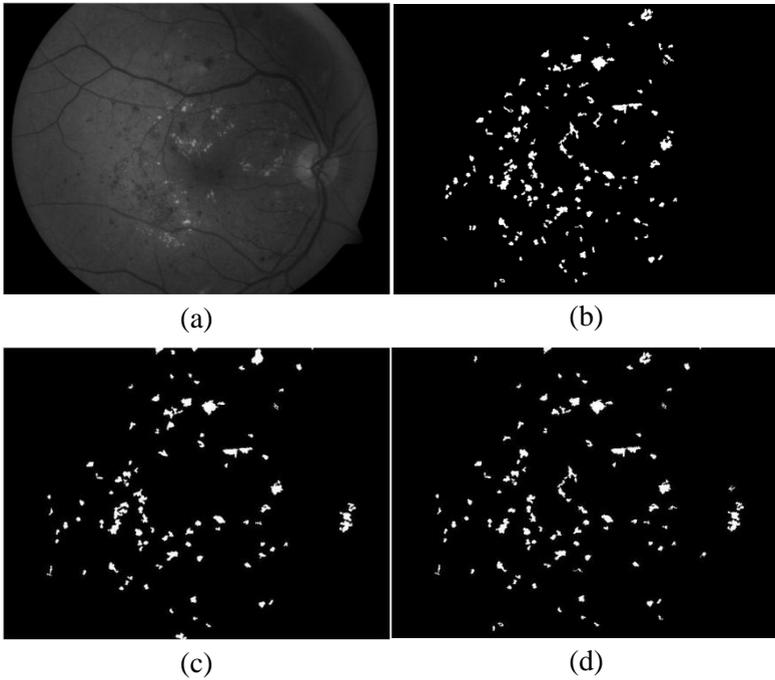
Hasil uji coba dari skenario pengujian 3 beserta nilai akurasi, sensitivitas dan spesifisitas lebih lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A.15 sampai Lampiran A.21. Perbandingan dan nilai rata

– rata dari akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas pada seluruh citra uji berdasarkan skenario pengujian 3 dapat dilihat pada Tabel 5.11. Berikut ini akan ditampilkan contoh citra masukan untuk skenario pengujian 3 beserta hasil perbandingan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas dari citra keluaran. Contoh citra masukan untuk skenario pengujian 3 yang akan ditampilkan adalah citra image025.png yang dapat dilihat pada Gambar 5.11.

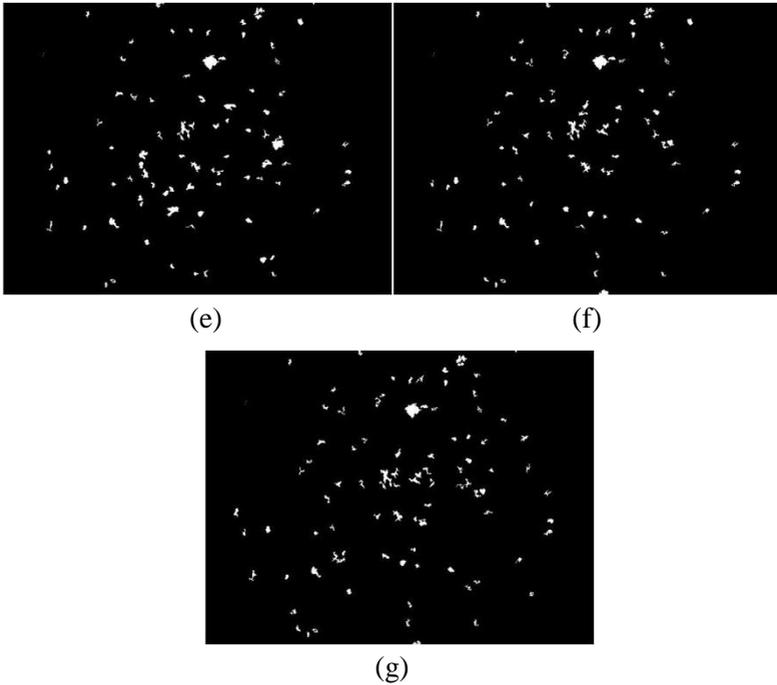
Pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13 dapat dilihat perbandingan dari citra *green channel*, citra *groundtruth* dengan citra keluaran hasil segmentasi dari skenario pengujian 3 pada citra masukan image025.png untuk tiap-tiap ukuran SE. Hasil perbandingan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas dari citra masukan image025.png dengan skenario pengujian 3 dapat dilihat pada Tabel 5.9. Pada Tabel 5.9 dapat dilihat SE dengan ukuran 10 piksel pada proses perbaikan citra dengan *Bottom-Hat transform* menghasilkan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas yang paling optimal.

**Tabel 5.9 Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 3 Pada Citra image025.png**

Citra Masukan	Ukuran SE	Sensitivitas (%)	Spesifisitas (%)	Akurasi (%)
image025.png	5	75,34	99,39	98,85
	<b>10</b>	<b>84,37</b>	<b>99,58</b>	<b>99,25</b>
	15	68,90	99,68	98,26
	20	50,53	99,34	97,75
	25	40,41	99,27	97,47



**Gambar 5.12** Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 3 pada image025.png (bagian 1); (a) citra *green channel* (b) citra *groundtruth* (c) hasil segmentasi dengan ukuran SE 5 (d) hasil segmentasi dengan ukuran SE



**Gambar 5.13 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 3 pada image025.png (bagian 2); (e) hasil segmentasi dengan ukuran SE 15 (f) hasil segmentasi dengan ukuran SE 20 (g) hasil segmentasi dengan ukuran SE 25**

Contoh lainnya dari citra masukan pada skenario pengujian 3 yang akan ditampilkan adalah citra image064.png. Citra image064.png dapat dilihat pada Gambar 5.14. Pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 dapat dilihat perbandingan dari citra *green channel*, citra *groundtruth* dengan citra keluaran hasil segmentasi dari skenario pengujian 3 pada citra masukan image064.png untuk tiap-tiap ukuran SE.

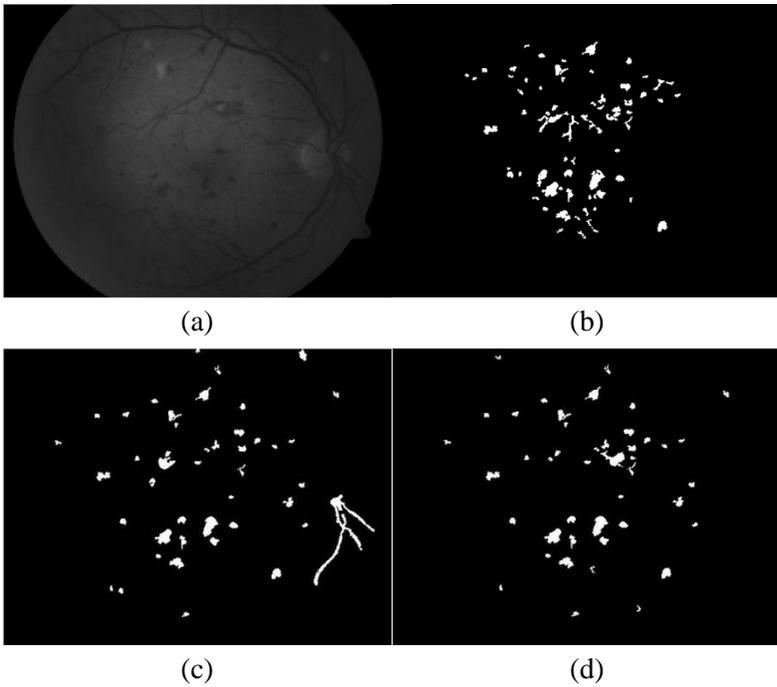


**Gambar 5.14 Citra masukan image064.png untuk skenario pengujian 3**

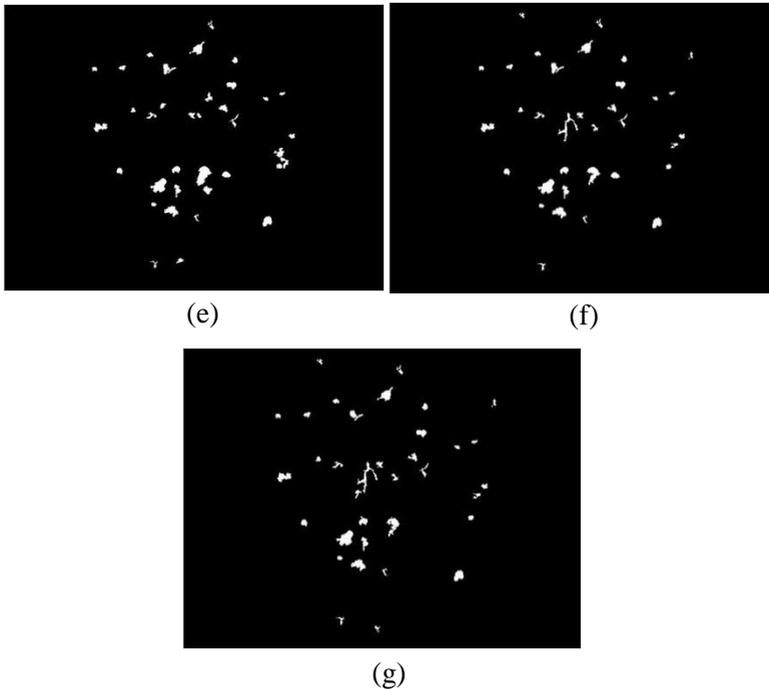
Hasil perbandingan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas dari citra masukan image064.png dengan skenario pengujian 3 dapat dilihat pada Tabel 5.10. Pada Tabel 5.10 dapat dilihat SE dengan ukuran 10 piksel pada proses perbaikan citra dengan *Bottom-Hat transform* menghasilkan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas yang paling optimal.

**Tabel 5.10 Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 3 Pada Citra image064.png**

Citra Masukan	Ukuran SE	Sensitivitas (%)	Spesifisitas (%)	Akurasi (%)
image064.png	5	58,92	99,35	98,54
	<b>10</b>	<b>84,21</b>	<b>99,36</b>	<b>99,15</b>
	15	83,98	99,27	99,07
	20	86,87	99,21	99,06
	25	83,82	99,15	98,97



**Gambar 5.15** Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 3 pada image064.png (bagian 1); (a) citra *green channel* (b) citra *groundtruth* (c) hasil segmentasi dengan ukuran SE 5 (d) hasil segmentasi dengan ukuran SE



**Gambar 5.16 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 3 pada image064.png (bagian 2); (e) hasil segmentasi dengan ukuran SE 15 (f) hasil segmentasi dengan ukuran SE 20 (g) hasil segmentasi dengan ukuran SE 25**

Pada Tabel 5.11 dapat dilihat bahwa perbedaan ukuran SE dapat mempengaruhi tingkat kebenaran dari hasil segmentasi lesi merah. Penentuan ukuran SE untuk *Bottom-Hat transform* berpengaruh langsung pada proses segmentasi pembuluh darah. Jika ukuran SE yang digunakan terlalu kecil, maka akan semakin banyak derau dan residu dari pembuluh darah yang tidak tersegmentasi pada citra keluaran akhir. Demikian pula apabila ukuran SE yang digunakan terlalu besar, maka akan menyebabkan banyak bagian dari lesi merah yang ikut tersegmentasi sebagai

pembuluh darah. Sehingga lesi merah tidak dapat tersegmentasi dengan optimal. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu ukuran SE yang tepat untuk dapat menghasilkan nilai akurasi, sensitivitas dan spesifisitas yang optimal. Dapat dilihat pada Tabel 5.11 berdasarkan 9 citra uji untuk skenario pengujian 3, didapatkan hasil segmentasi dengan rata-rata nilai akurasi, sensitivitas dan spesifisitas yang paling optimal adalah SE dengan ukuran 10 piksel.

**Tabel 5.11 Hasil Rata-Rata Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 3**

Ukuran SE	Rata-Rata Sensitivitas (%)	Rata-Rata Spesifisitas (%)	Rata-Rata Akurasi (%)
5	55,06	93,24	98,19
<b>10</b>	<b>78,20</b>	<b>99,57</b>	<b>99,13</b>
15	70,83	99,12	98,68
20	58,76	98,88	98,35
25	51,24	98,75	98,16

### **5.7 Skenario Pengujian 4: Perbandingan Rentang Parameter Standar Deviasi Pada Proses 2D Gaussian Low Pass Filter**

Pada skenario ini dilakukan perbandingan nilai akurasi dari citra hasil segmentasi, nilai sensitivitas dan nilai spesifisitas berdasarkan rentang parameter standar deviasi yang berbeda-beda. Nilai dari rentangan parameter standar deviasi yang akan dibandingkan, digunakan pada proses *smoothing* untuk menghilangkan derau dan *microaneurysm* pada citra masukan sebelum melakukan segmentasi pembuluh darah. Proses *smoothing* dilakukan dengan *2D Gaussian low pass filter*. Implementasi dari proses *2D Gaussian low pass filter* dapat dilihat pada persamaan

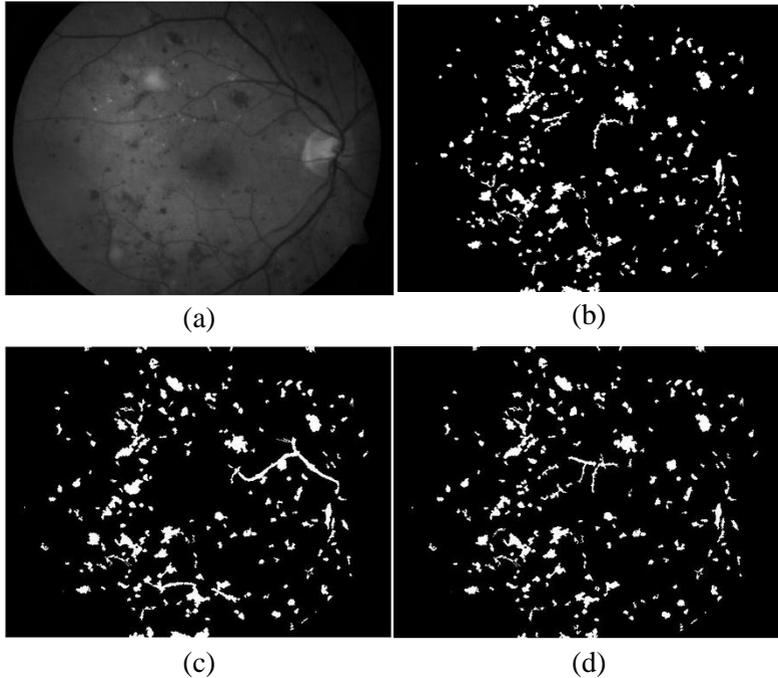
3.12. Pada skenario ini, akan digunakan nilai standar deviasi sebesar 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3. Uji coba ini dilakukan pada 7 citra fundus berwarna dari dataset DIARETDB1. Hasil uji coba dari skenario pengujian 4 beserta nilai akurasi, sensitivitas dan spesifisitas lebih lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A.22 sampai Lampiran A.26. Perbandingan dan nilai rata – rata dari akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas pada seluruh citra uji berdasarkan skenario pengujian 4 dapat dilihat pada Tabel 5.14. Berikut ini akan ditampilkan contoh citra masukan untuk skenario pengujian 4 beserta hasil perbandingan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas dari citra keluaran. Contoh citra masukan untuk skenario pengujian 4 adalah citra image020.png yang dapat dilihat pada Gambar 5.5.

**Tabel 5.12 Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 4 Pada Citra image020.png**

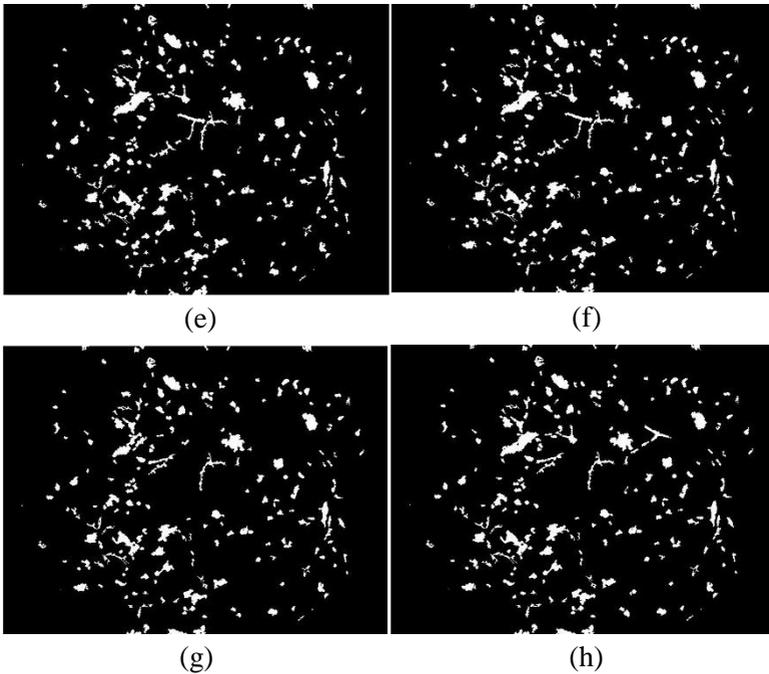
Citra Masukan	Nilai Standar Deviasi	Sensitivitas (%)	Spesifisitas (%)	Akurasi (%)
image020.png	0,5	76,90	98,07	99,44
	1	87,01	98,80	99,47
	1,5	85,42	98,70	99,48
	2	86,22	98,74	99,47
	<b>2,5</b>	<b>95,28</b>	<b>99,51</b>	<b>99,75</b>
	3	89,47	99,17	99,74

Hasil perbandingan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas dari citra masukan image020.png dengan skenario pengujian 4 dapat dilihat pada Tabel 5.12. Pada Tabel 5.12 dapat dilihat rentang parameter standar deviasi dari proses *2D Gaussian low pass filter* sebanyak 2,5 menghasilkan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas yang paling optimal. Pada Gambar 5.17 dan Gambar 5.18 dapat dilihat perbandingan dari citra *green channel*, citra *groundtruth* dengan citra keluaran hasil segmentasi

dari skenario pengujian 4 pada citra masukan image020.png untuk tiap-tiap rentang standar deviasi dari proses *2D Gaussian low pass filter*.



**Gambar 5.17** Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 4 pada image020.png (bagian 1); (a) citra *green channel* (b) citra *groundtruth* (c) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 0,5 (d) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 1



**Gambar 5.18 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 4 pada image020.png (bagian 2); (e) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 1,5 (f) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 2 (g) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 2,5 (h) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 3**

Contoh lainnya dari citra masukan pada skenario pengujian 4 yang akan ditampilkan adalah citra image025.png. Citra image025.png dapat dilihat pada Gambar 5.11. Pada Gambar 5.19 dan Gambar 5.20 dapat dilihat perbandingan dari citra *green channel*, citra *groundtruth* dengan citra keluaran hasil segmentasi dari skenario pengujian 4 pada citra masukan image025.png untuk tiap-tiap rentang parameter standar deviasi dari proses *2D Gaussian low pass filter*.

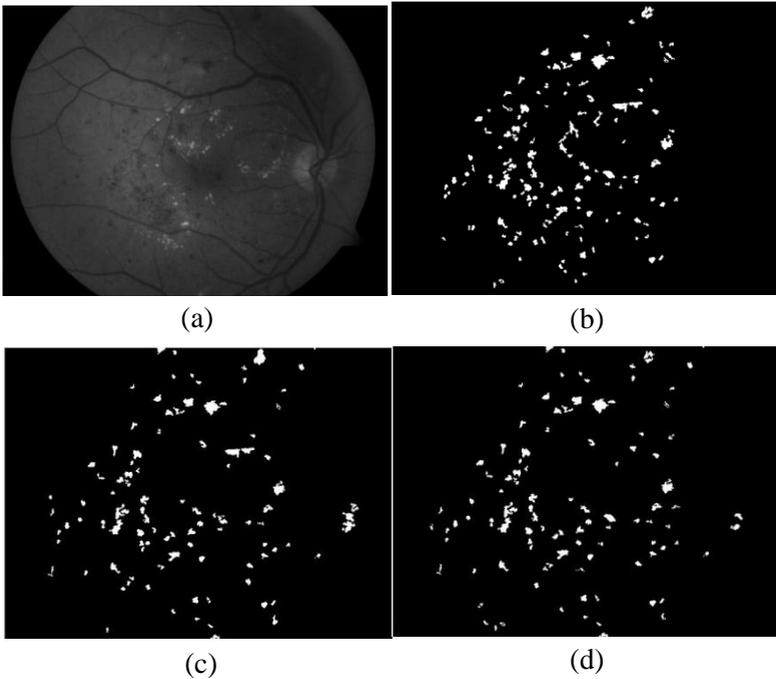
**Tabel 5.13 Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 4 Pada Citra image025.png**

Citra Masukan	Rentang Parameter	Sensitivitas (%)	Spesifisitas (%)	Akurasi (%)
image025.png	0,5	77,54	98,97	99,47
	1	80,26	98,98	99,36
	1,5	81,57	99,05	99,42
	2	83,43	99,20	99,55
	<b>2,5</b>	<b>84,37</b>	<b>99,25</b>	<b>99,59</b>
	3	82,97	99,18	99,55

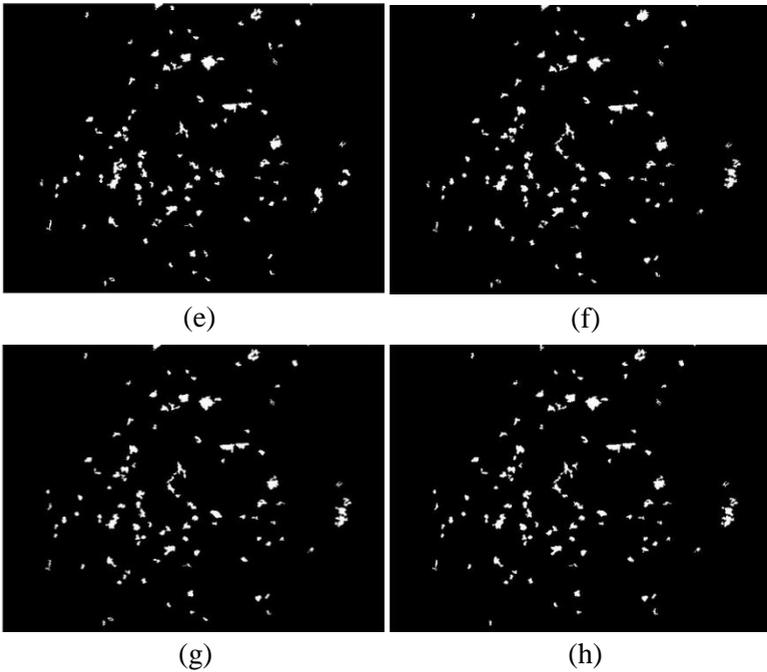
Hasil perbandingan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas dari citra masukan image025.png dengan skenario pengujian 4 dapat dilihat pada Tabel 5.13. Pada Tabel 5.13 dapat dilihat rentang parameter standar deviasi dari proses *2D Gaussian low pass filter* sebanyak 2,5 menghasilkan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas yang paling optimal.

Pada Tabel 5.14 dapat dilihat bahwa perbedaan rentang parameter standar deviasi dari proses *2D Gaussian low pass filter* dapat mempengaruhi tingkat kebenaran dari hasil segmentasi lesi merah. Untuk mendapatkan hasil yang optimal dan tidak merusak objek yang akan disegmentasi, rentang nilai parameter standar deviasi pada proses *2D Gaussian low pass filter* memiliki nilai *threshold* tertentu. Apabila rentang nilai parameter standar deviasi yang digunakan kurang dari batas nilai *threshold*, maka akan menyebabkan proses segmentasi pembuluh darah menjadi tidak optimal. Hal ini dikarenakan apabila rentang nilai dari parameter standar deviasi semakin kecil menyebabkan intensitas hasil *smoothing* dengan *2D Gaussian low pass filter* semakin rendah, begitu juga sebaliknya. Sehingga pada citra hasil akhir segmentasi lesi merah terdapat sisa pembuluh yang tidak tersegmentasi. Demikian pula apabila rentang nilai parameter standar deviasi yang digunakan melebihi batas nilai *threshold*, pada citra hasil akhir

segmentasi lesi merah akan ditemukan banyak derau yang merupakan sisa dari pembuluh darah yang tidak tersegmentasi sehingga terjadi penurunan nilai akurasi.



**Gambar 5.19** Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 4 pada image025.png (bagian 1); (a) citra *green channel* (b) citra *groundtruth* (c) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 0,5 (d) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 1



**Gambar 5.20 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 4 pada image025.png (bagian 2); (e) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 1,5 (f) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 2 (g) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 2,5 (h) hasil segmentasi dengan nilai standar deviasi 3**

**Tabel 5.14 Hasil Rata-Rata Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 4**

<b>Nilai Standar Deviasi</b>	<b>Rata-Rata Sensitivitas (%)</b>	<b>Rata-Rata Spesifisitas (%)</b>	<b>Rata-Rata Akurasi (%)</b>
0,5	74,90	99,38	98,58
1	80,45	99,30	98,80
1,5	81,58	99,36	98,88
2	83,26	99,41	98,99
<b>2,5</b>	<b>86,40</b>	<b>99,53</b>	<b>99,18</b>
3	83,98	99,49	99,06

Sehingga dapat dilihat pada Tabel 5.14 berdasarkan 8 citra uji untuk skenario pengujian 4, didapatkan hasil segmentasi dengan rata-rata nilai akurasi, sensitivitas dan spesifisitas yang paling optimal pada nilai standar deviasi sebesar 2,5.

### **5.8 Skenario Pengujian 5: Perbandingan Nilai Threshold Pada Proses Binerisasi Citra Hasil Segmentasi Pembuluh Darah**

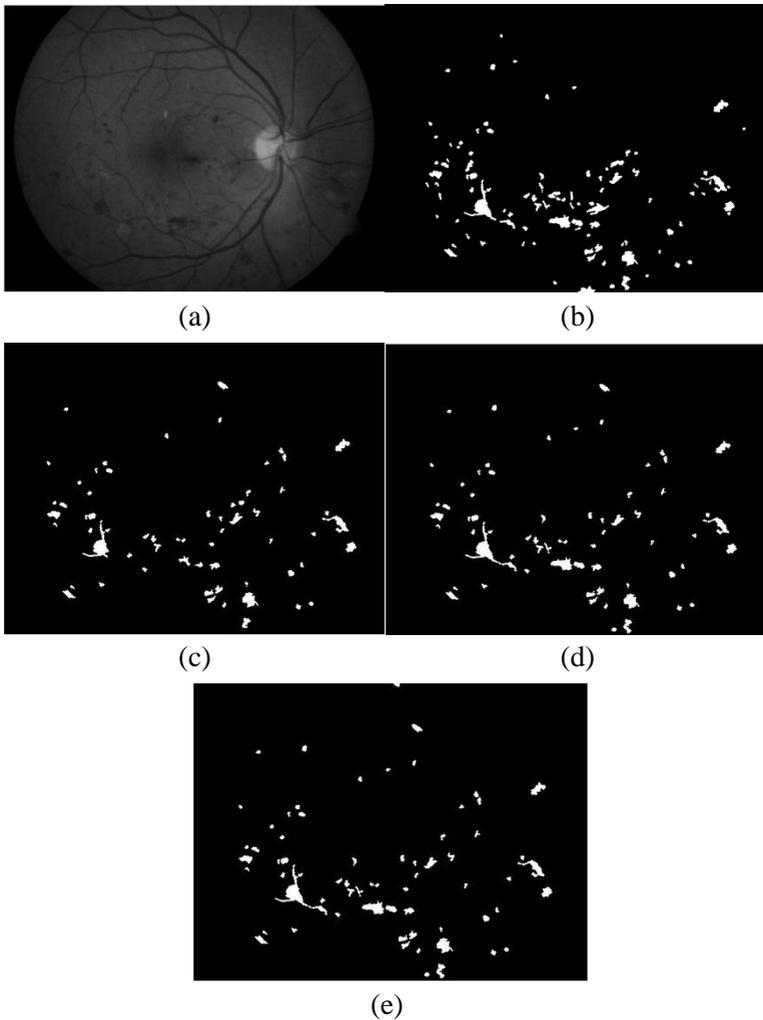
Pada skenario ini akan dilakukan perbandingan nilai akurasi dari citra hasil segmentasi, nilai sensitivitas, dan nilai spesifisitasnya berdasarkan nilai *threshold* untuk proses binerisasi pada citra hasil segmentasi pembuluh darah yang berbeda-beda. Implementasi dari proses binerisasi ini dapat dilihat pada persamaan 3.16 dan 3.17. Pada skenario ini akan digunakan nilai *threshold* 0,0001; 0,0005; 0,001; 0,005; dan 0,01. Pengambilan nilai-nilai tersebut dilakukan secara manual berdasarkan pada rentang nilai piksel dari objek yang akan disegmentasi pada citra masukan yaitu antara 0 - 0,1426. Uji coba ini dilakukan pada 9 citra fundus berwarna dari dataset DIARETDB1. Hasil uji coba dari skenario pengujian 5 beserta nilai akurasi, sensitivitas dan spesifisitas lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran A.28 sampai Lampiran A.34.

Perbandingan dan nilai rata – rata dari akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas pada seluruh citra uji berdasarkan skenario pengujian 5 dapat dilihat pada Tabel 5.17. Berikut ini akan ditampilkan contoh citra masukan untuk skenario pengujian 5 beserta hasil perbandingan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas dari citra keluaran. Contoh citra masukan untuk skenario pengujian 5 yang akan ditampilkan adalah citra image010.png yang dapat dilihat pada Gambar 5.1.

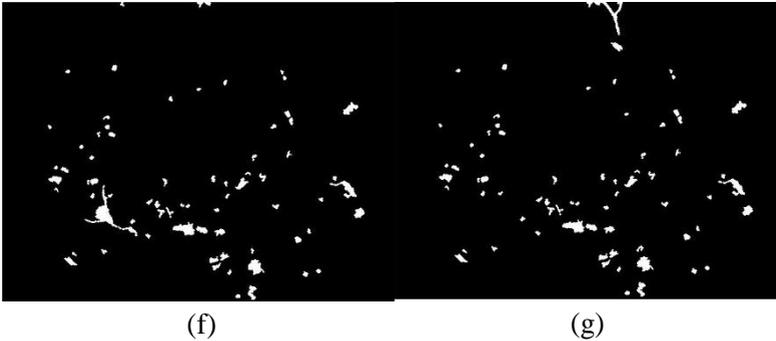
**Tabel 5.15 Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 5 Pada Citra image010.png**

Citra Masukan	Nilai <i>Threshold</i>	Sensitivitas (%)	Spesifisitas (%)	Akurasi (%)
image010.png	0,0001	93,26	99,12	99,22
	<b>0,0005</b>	<b>93,78</b>	<b>99,37</b>	<b>99,49</b>
	0,001	93,12	99,35	99,48
	0,005	90,91	99,31	99,48
	0,01	80,93	98,83	99,17

Hasil perbandingan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas dari citra masukan image010.png dengan skenario pengujian 5 dapat dilihat pada Tabel 5.15. Pada Tabel 5.15 dapat dilihat nilai *threshold* untuk proses binerisasi pada citra hasil segmentasi pembuluh darah sebesar 0,0005 menghasilkan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas yang paling optimal. Pada Gambar 5.21 dan Gambar 5.22 dapat dilihat perbandingan dari citra *green channel*, citra *groundtruth* dengan citra keluaran hasil segmentasi dari skenario pengujian 5 pada citra masukan image010.png untuk tiap-tiap nilai *threshold*.



**Gambar 5.21** Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 5 pada image010.png (bagian 1); (a) citra *green channel* (b) citra *groundtruth* (c) hasil segmentasi dengan threshold 0,0001 (d) hasil segmentasi dengan threshold 0,0005 (e) hasil segmentasi dengan threshold 0,001



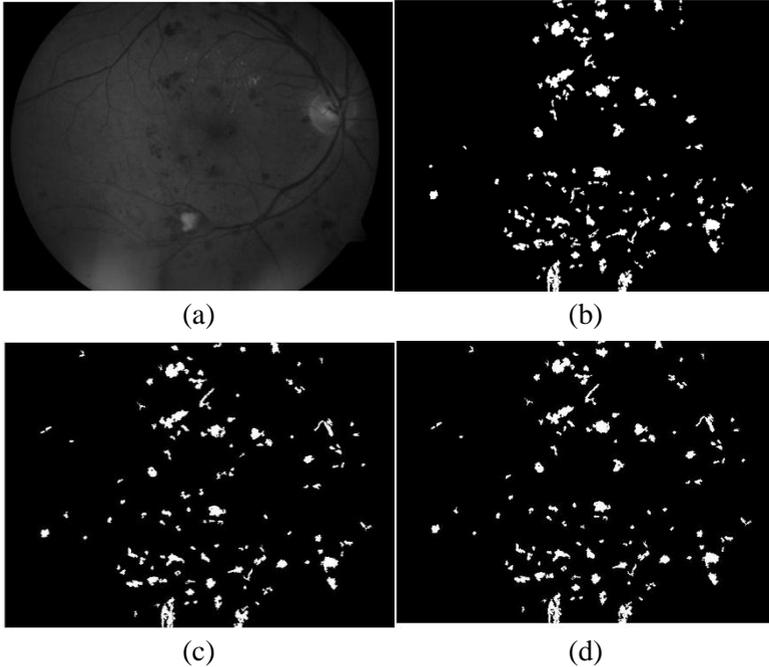
**Gambar 5.22** Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 5 pada image010.png (bagian 2); (f) hasil segmentasi dengan nilai threshold 0,005 (g) hasil segmentasi dengan nilai threshold 0,01

Contoh lainnya dari citra masukan pada skenario pengujian 5 yang akan ditampilkan adalah citra image022.png. Citra image022.png dapat dilihat pada Gambar 5.8. Pada Gambar 5.23 dan Gambar 5.24 dapat dilihat perbandingan dari citra *green channel*, citra *groundtruth* dengan citra keluaran hasil segmentasi dari skenario pengujian 5 pada citra masukan image022.png untuk tiap-tiap nilai *threshold*.

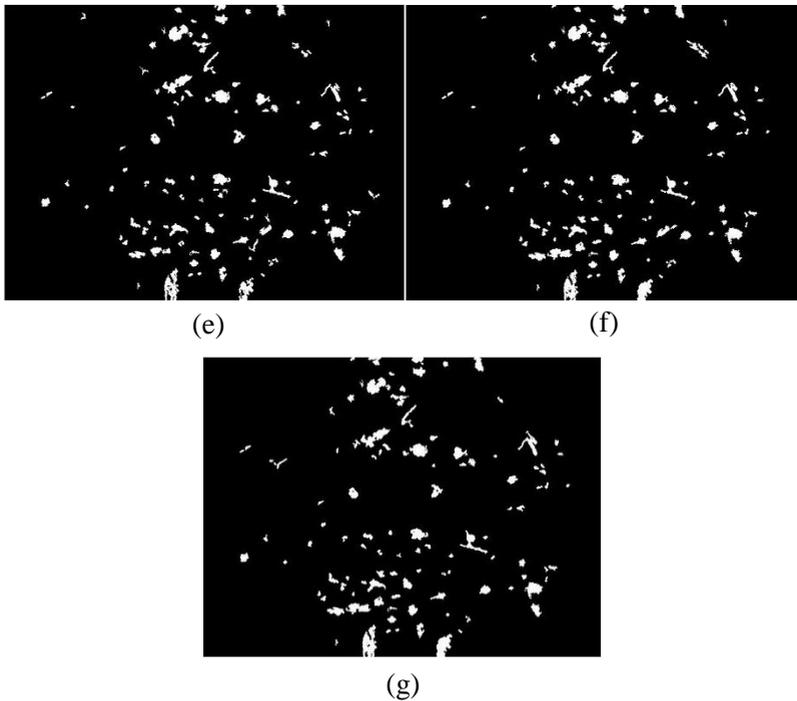
**Tabel 5.16** Hasil Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 5 Pada Citra image022.png

Citra Masukan	Nilai <i>Threshold</i>	Sensitivitas (%)	Spesifisitas (%)	Akurasi (%)
image022.png	0,0001	86,49	99,04	99,48
	<b>0,0005</b>	<b>89,05</b>	<b>99,31</b>	<b>99,69</b>
	0,001	85,47	99,15	99,67
	0,005	77,75	98,72	99,57
	0,01	78,47	98,71	99,52

Hasil perbandingan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas dari citra masukan image022.png dengan skenario pengujian 5 dapat dilihat pada Tabel 5.16. Pada Tabel 5.16 dapat dilihat nilai *threshold* untuk proses binerisasi pada citra hasil segmentasi pembuluh darah sebesar 0,0005 menghasilkan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas yang paling optimal.



**Gambar 5.23** Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 5 pada image022.png (bagian 1); (a) citra *green channel* (b) citra *groundtruth* (c) hasil segmentasi dengan *threshold* 0,0001 (d) hasil segmentasi dengan *threshold* 0,0005



**Gambar 5.24 Perbandingan citra hasil segmentasi dengan skenario pengujian 5 pada image022.png (bagian 2); (e) hasil segmentasi dengan nilai threshold 0,001 (f) hasil segmentasi dengan nilai threshold 0,005 (g) hasil segmentasi dengan nilai threshold 0,01**

Pada Tabel 5.17 dapat dilihat bahwa perbedaan nilai *threshold* untuk proses binerisasi pada citra hasil segmentasi pembuluh darah mempengaruhi tingkat kebenaran dari hasil segmentasi lesi merah. Jika nilai *threshold* yang digunakan terlalu kecil, lesi merah dengan intensitas nilai rendah akan ikut tersegmentasi sebagai pembuluh darah. Sehingga menyebabkan segmentasi lesi merah menjadi tidak optimal. Sedangkan apabila nilai *threshold* yang digunakan terlalu besar, pembuluh darah

dengan intensitas nilai rendah yang memiliki nilai kurang dari *threshold* yang ditentukan tidak dapat tersegmentasi. Sehingga pembuluh darah pada citra masukan tidak tersegmentasi dengan optimal dan menyebabkan banyak terdapat sisa pembuluh pada citra keluaran akhir hasil segmentasi lesi merah.

**Tabel 5.17 Hasil Rata-Rata Akurasi, Sensitivitas, dan Spesifisitas Dari Skenario Pengujian 5**

<b>Nilai <i>Threshold</i></b>	<b>Rata-Rata Sensitivitas (%)</b>	<b>Rata-Rata Spesifisitas (%)</b>	<b>Rata-Rata Akurasi (%)</b>
0,0001	83,24	99,54	99,12
<b>0,0005</b>	<b>84,64</b>	<b>99,67</b>	<b>99,27</b>
0,001	82,19	99,66	99,18
0,005	71,05	99,59	98,75
0,01	60,13	99,50	98,16

Dapat dilihat pada Tabel 5.17 berdasarkan 9 citra uji untuk skenario pengujian 5, nilai *threshold* 0,0005 dapat memberikan rata-rata persentase akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas yang paling optimal.

## **5.9 Evaluasi**

Dari hasil skenario uji coba yang telah dilakukan, beberapa parameter yang digunakan selama uji coba memberikan pengaruh terhadap citra hasil segmentasi pembuluh darah menggunakan pendekatan metode morfologi. Parameter parameter yang digunakan antara lain jumlah iterasi sebanyak 3 kali pada proses *Alternating sequential filter*, nilai *threshold* untuk binerisasi citra hasil eliminasi *fovea* sebesar 0,005, ukuran SE untuk proses *Bottom-Hat transform* sebesar 10 piksel, rentang nilai parameter standar deviasi untuk proses *smoothing* dengan *2D Gaussian low pass filter* sebesar 2,5 dan nilai *threshold* untuk binerisasi citra hasil segmentasi pembuluh darah sebesar 0,0005. Parameter-parameter tersebut menghasilkan persentase terbaik untuk akurasi

sebesar 99,89%, sensitivitas sebesar 95,28% dan spesifisitas sebesar 100%. Hasil tersebut hanya berlaku untuk citra yang diperoleh dari dataset DIARETDB1. Dengan kata lain, parameter-parameter yang dipilih tersebut dapat menghasilkan persentase nilai akurasi, sensitivitas dan spesifisitas terbaik jika diimplementasikan pada citra yang diperoleh dari dataset DIARETDB1.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

Bab kesimpulan dan saran berisi mengenai simpulan-simpulan yang dapat diambil dari hasil uji coba yang telah dilakukan sebagai jawaban dari rumusan masalah yang telah dikemukakan. Selain itu, pada bab ini terdapat juga saran yang ditujukan untuk pengembangan perangkat lunak lebih lanjut.

#### 6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan uji coba dan evaluasi yang telah dilakukan antara lain:

1. Dengan melihat hasil uji coba terbukti bahwa segmentasi lesi merah pada citra fundus retina mata berwarna dengan menggunakan pendekatan metode morfologi ini dapat mengsegmentasi lesi merah pada citra fundus retina mata berwarna dengan baik.
2. Hasil segmentasi lesi merah pada citra fundus retina mata berwarna menggunakan pendekatan metode morfologi dari 25 citra masukan menghasilkan nilai rata-rata akurasi 99,22%, sensitivitas 81,32% dan spesifisitas 95,59%.
3. Perubahan jumlah iterasi pada proses *Alternating sequential filter* mempengaruhi tingkat kebenaran dari hasil segmentasi lesi merah. Jika jumlah iterasi terlalu kecil, maka bagian lesi merah yang dapat tersegmentasi menjadi semakin kecil. Demikian juga apabila jumlah iterasi yang digunakan terlalu besar, maka bagian lesi merah yang tersegmentasi akan semakin besar. Hal tersebut menyebabkan ukuran lesi merah yang tersegmentasi tidak sesuai sehingga nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas menjadi rendah.
4. Perubahan nilai *threshold* pada proses binerisasi citra awal mempengaruhi tingkat kebenaran dari hasil segmentasi lesi merah. Apabila nilai *threshold* terlalu kecil, derau yang bukan merupakan lesi merah pada citra masukan akan ikut

tersegmentasi sebagai lesi merah. Demikian pula apabila nilai *threshold* terlalu besar, maka lesi merah yang memiliki nilai *threshold* kecil tidak dapat tersegmentasi. Sehingga citra keluaran akhir hasil segmentasi lesi merah menjadi tidak optimal.

5. Perbedaan ukuran SE pada proses perbaikan citra dengan *Bottom-Hat transform* mempengaruhi tingkat kebenaran dari hasil segmentasi lesi merah. Jika ukuran SE yang digunakan terlalu kecil, maka akan semakin banyak derau dan residu dari pembuluh darah yang tidak tersegmentasi pada citra keluaran akhir. Demikian pula apabila ukuran SE yang digunakan terlalu besar, maka akan menyebabkan banyak bagian dari lesi merah yang ikut tersegmentasi sebagai pembuluh darah.
6. Perubahan nilai standar deviasi pada proses *2D Gaussian low pass filter* mempengaruhi tingkat kebenaran dari hasil segmentasi lesi merah. Apabila nilai standar deviasi yang digunakan kurang dari batas nilai optimal, maka akan menyebabkan proses segmentasi pembuluh darah menjadi tidak optimal. Sehingga pada citra hasil akhir segmentasi lesi merah terdapat sisa pembuluh yang tidak tersegmentasi. Demikian pula apabila nilai standar deviasi yang digunakan melebihi batas nilai optimal, pada citra hasil akhir segmentasi lesi merah akan ditemukan banyak derau yang merupakan sisa dari pembuluh darah yang tidak tersegmentasi sehingga terjadi penurunan nilai akurasi.
7. Perubahan nilai *threshold* pada proses binerisasi citra hasil segmentasi pembuluh darah mempengaruhi tingkat kebenaran dari hasil segmentasi lesi merah. Jika nilai *threshold* yang digunakan terlalu kecil, maka akan terdapat bagian lesi merah yang ikut tersegmentasi sebagai pembuluh darah dan menyebabkan segmentasi lesi merah menjadi tidak optimal. Sedangkan apabila nilai *threshold* yang

digunakan terlalu besar, maka pembuluh darah pada citra masukan tidak dapat tersegmentasi dengan optimal. Sehingga menyebabkan banyak terdapat sisa pembuluh pada citra keluaran akhir hasil segmentasi lesi merah.

## 6.2 Saran

Beberapa saran yang hendak disampaikan terkait dengan pengerjaan tugas akhir ini adalah :

1. Perlu dilakukan pengembangan metode yang dapat mensegmentasi pembuluh darah lebih optimal. Sehingga tidak terdapat residu pembuluh pada citra hasil keluaran proses eliminasi pembuluh darah.
2. Perlu dilakukan pengembangan metode yang dapat mensegmentasi lesi merah yang terdiri dari *hemorrhages* dan *microaneurysms* berdasarkan karakteristik ukuran sehingga *microaneurysms* yang berukuran kecil tidak salah terdeteksi sebagai *noise* dan *hemorrhages* dengan bentuk memanjang tidak salah terdeteksi sebagai pembuluh darah.

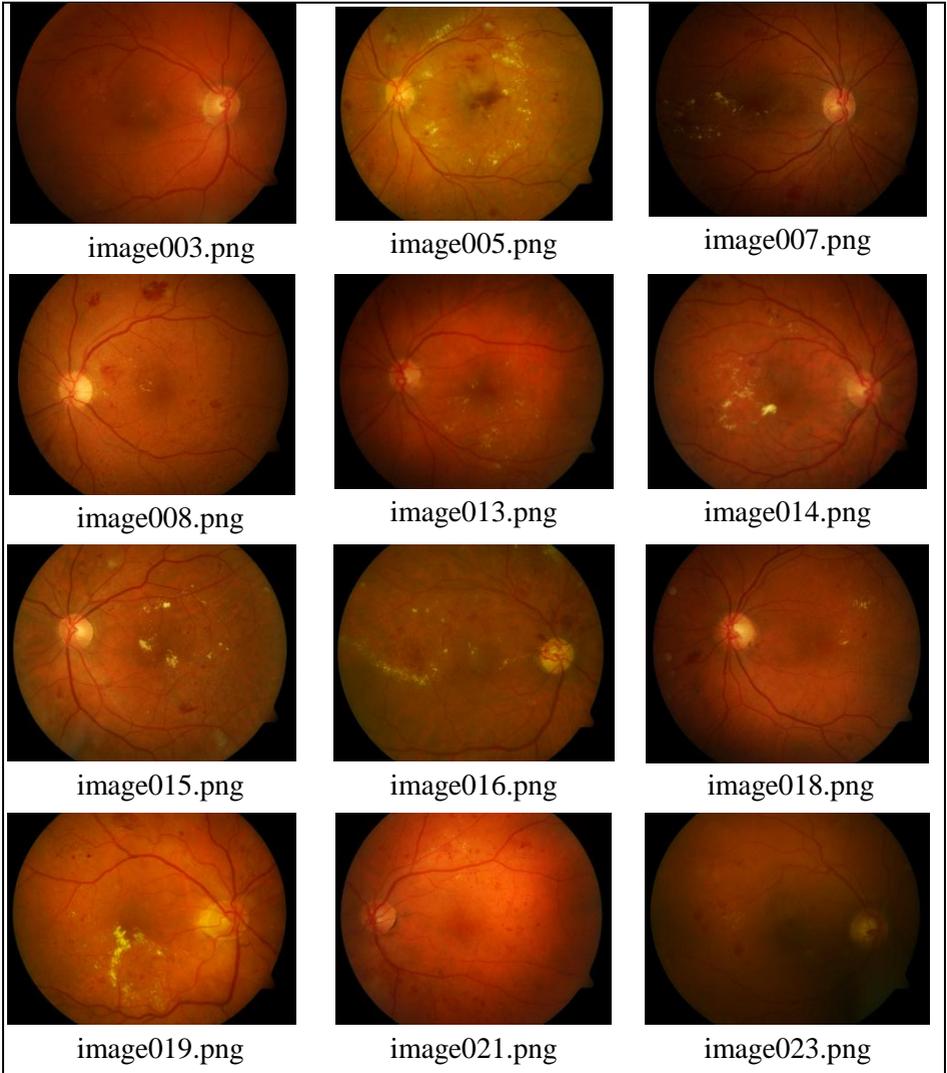
## DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Retinopati Diabetik,” Juni 2012. [Online]. Available: <http://tipsdokterumum.blogspot.com/2012/06/retinopati-diabetik.html>. [Diakses 21 Februari 2014].
- [2] “MedlinePlus,” Januari 2014. [Online]. Available: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/001212.htm>. [Diakses 21 Februari 2014].
- [3] Ardiantoro, “Pengolahan Citra Digital,” 28 September 2010. [Online]. Available: <http://jaming89.wordpress.com/2010/09/28/pengolahan-citra-digital/>. [Diakses 10 Mei 2014].
- [4] “Channel,” 2011. [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Channel\\_\(digital\\_image\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Channel_(digital_image)). [Diakses 20 Februari 2014].
- [5] R. Bock, J. Meier, L. G. Nyúl, J. Hornegger dan G. Michelson, “glaucoma risk index : automated glaucoma detection from color fundus,” *Medical Image Analysis*, vol. Volume 14, no. 3, pp. 471-481, 2010.
- [6] R. C. Gonzalez dan R. E. Woods, *Digital image processing*, Third edition, Prentice Hall, 2008.
- [7] W. Setiawan, “Sistem Deteksi Retinopati Diabetik Menggunakan Support Vector Machine,” *Tesis Program Studi Magister Sistem Informasi*, 2012.
- [8] C. Watson, “Image - Processing Tutorial - Filtering,” University of Washington, [Online]. Available: [www.cs.washington.edu/research/metip/tutor/tutor.Filtering.html#lpf](http://www.cs.washington.edu/research/metip/tutor/tutor.Filtering.html#lpf). [Diakses 10 Mei 2014].
- [9] M. R. Nugroho, “Operasi Morfologi Citra Dengan Matlab,” Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, 2011.

- [10] Mathworks, "Create morphological structuring element (STREL) - MATLAB strel," [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/help/images/ref/strel.html>. [Diakses 2 Mei 2014].
- [11] B. Girod, "7-Morphological-Image-Processing-Combined.pdf," 2013. [Online]. Available: [http://web.stanford.edu/class/ee368/Handouts/Lectures/2014\\_Spring/Combined\\_Slides/7-Morphological-Image-Processing-Combined.pdf](http://web.stanford.edu/class/ee368/Handouts/Lectures/2014_Spring/Combined_Slides/7-Morphological-Image-Processing-Combined.pdf). [Diakses 2 Mei 2014].
- [12] G. V. Tcheslavski, "Microsoft PowerPoint - 10-2 Morphological Image Processing.ppt," 2009. [Online]. Available: <http://ee.lamar.edu/gleb/dip/10-2%20-%20Morphological%20Image%20Processing.pdf>. [Diakses 3 5 2014].
- [13] T. Kauppi, V. Kalesnykiene, J. K. Kamarainen, L. Lensu, I. Sorri, A. Raninen, R. Voutilainen, J. Pietilä, H. Kälviäinen dan H. Uusitalo, "DIARETDB1 Standard Diabetic Retinopathy Database," Juni 2010. [Online]. Available: <http://www2.it.lut.fi/project/imageret/diaretdb1/>. [Diakses 23 Februari 2014].
- [14] S. B. Junior dan D. Welfer, "Automatic detection of microaneurysms and hemorrhages in color eye fundus image," *International Journal of Computer Science & Information Technology*, vol. 5, 2013.

## LAMPIRAN

**Tabel A.1 Citra-Citra Masukan (bagian 1)**



**Tabel A.2 Citra-citra Masukan (bagian 2)**



image024.png



image026.png

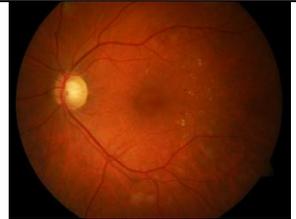


image053.png

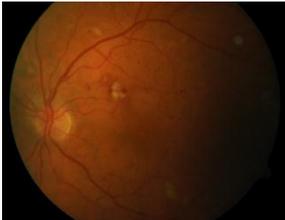


image065.png

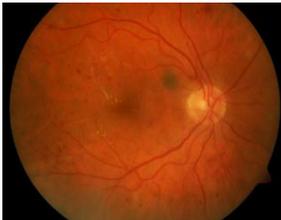


image066.png

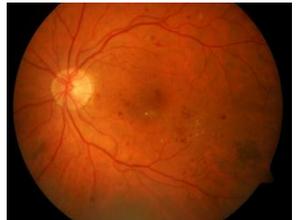
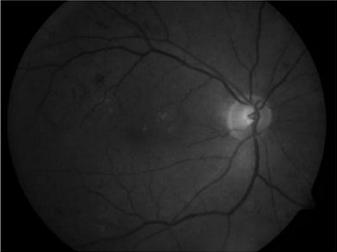


image067.png

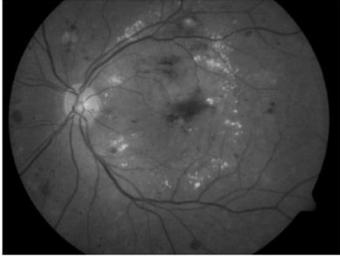


Image084.png

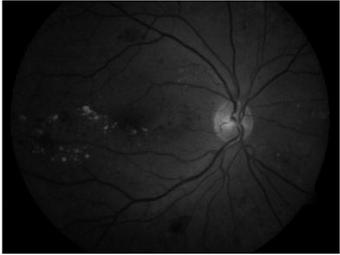
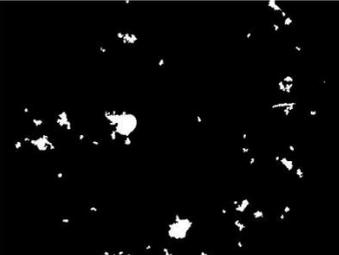
**Tabel A.3 Hasil Perbandingan Iterasi dari Proses *Alternating Sequential Filter* pada image003.png**

 <p data-bbox="258 533 510 560"><i>Citra Green Chaneel</i></p>	 <p data-bbox="680 533 863 560">ASF Iterasi = 1</p> <p data-bbox="664 564 880 592">Akurasi = 99,46%</p> <p data-bbox="642 596 901 624">Sensitivitas = 58,80%</p> <p data-bbox="642 628 901 655">Spesifisitas = 99,29%</p>
 <p data-bbox="292 924 479 951">ASF Iterasi = 2</p> <p data-bbox="275 957 493 984">Akurasi = 99,58%</p> <p data-bbox="254 989 515 1016">Sensitivitas = 73,75%</p> <p data-bbox="254 1021 515 1048">Spesifisitas = 99,78%</p>	 <p data-bbox="680 924 863 951">ASF Iterasi = 3</p> <p data-bbox="664 957 880 984">Akurasi = 98,05%</p> <p data-bbox="642 989 901 1016">Sensitivitas = 22,49%</p> <p data-bbox="642 1021 901 1048">Spesifisitas = 99,68%</p>

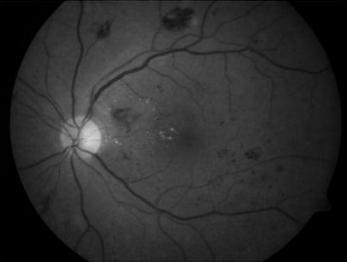
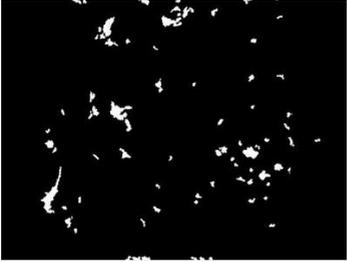
**Tabel A.4 Hasil Perbandingan Iterasi dari Proses *Alternating Sequential Filter* pada image005.png**

 <p data-bbox="258 536 508 564"><i>Citra Green Chaneel</i></p>	 <p data-bbox="642 536 897 667">ASF Iterasi = 1 Akurasi = 97,09% Sensitivitas = 68,07% Spesifisitas = 97,80%</p>
 <p data-bbox="253 924 510 1054">ASF Iterasi = 2 Akurasi = 98,16% Sensitivitas = 70,67% Spesifisitas = 99,52%</p>	 <p data-bbox="642 924 900 1054">ASF Iterasi = 3 Akurasi = 95,65% Sensitivitas = 45,41% Spesifisitas = 98,98%</p>

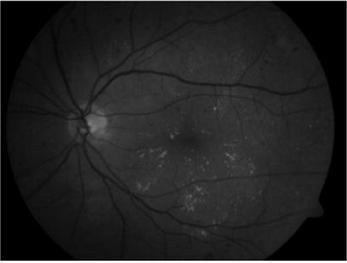
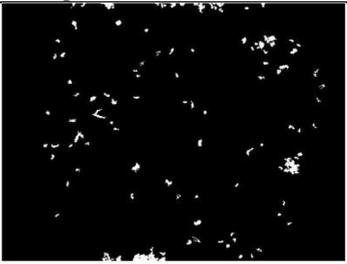
**Tabel A.5 Hasil Perbandingan Iterasi dari Proses *Alternating Sequential Filter* pada image007.png**

 <p data-bbox="258 533 508 563"><i>Citra Green Chaneel</i></p>	 <p data-bbox="680 533 863 563">ASF Iterasi = 1</p> <p data-bbox="665 564 878 595">Akurasi = 98,82%</p> <p data-bbox="642 596 900 627">Sensitivitas = 78,08%</p> <p data-bbox="642 628 900 659">Spesifisitas = 98,93%</p>
 <p data-bbox="292 927 474 957">ASF Iterasi = 2</p> <p data-bbox="276 959 489 989">Akurasi = 99,58%</p> <p data-bbox="254 991 511 1021">Sensitivitas = 89,13%</p> <p data-bbox="254 1023 511 1053">Spesifisitas = 99,27%</p>	 <p data-bbox="680 927 863 957">ASF Iterasi = 3</p> <p data-bbox="665 959 878 989">Akurasi = 98,50%</p> <p data-bbox="642 991 900 1021">Sensitivitas = 49,23%</p> <p data-bbox="642 1023 900 1053">Spesifisitas = 99,69%</p>

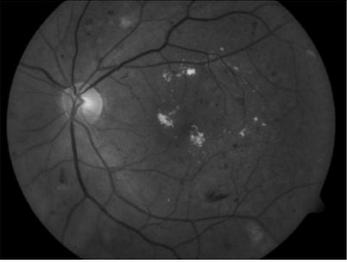
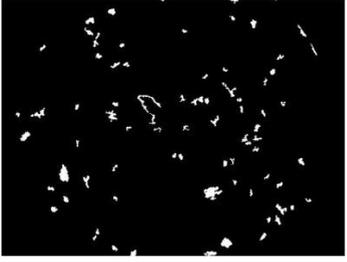
**Tabel A.6 Hasil Perbandingan Iterasi dari Proses *Alternating Sequential Filter* pada image008.png**

 <p><i>Citra Green Chaneel</i></p>	 <p>ASF Iterasi = 1 Akurasi = 98,49% Sensitivitas = 79,02% Spesifisitas = 98,74%</p>
 <p>ASF Iterasi = 2 Akurasi = 99,32% Sensitivitas = 81,79% Spesifisitas = 99,76%</p>	 <p>ASF Iterasi = 3 Akurasi = 97,61% Sensitivitas = 48,33% Spesifisitas = 99,69%</p>

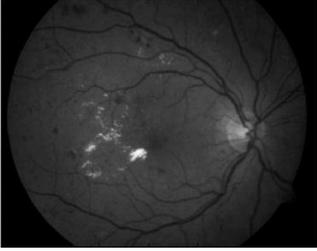
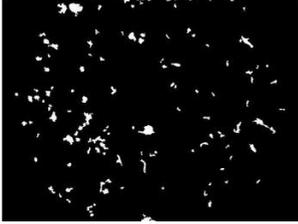
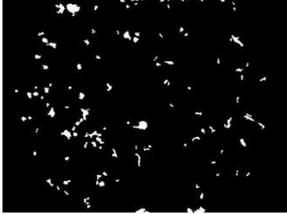
**Tabel A.7 Hasil Perbandingan Iterasi dari Proses *Alternating Sequential Filter* pada image013.png**

 <p data-bbox="258 539 508 568"><i>Citra Green Chaneel</i></p>	 <p data-bbox="680 539 863 568">ASF Iterasi = 1</p> <p data-bbox="665 571 878 600">Akurasi = 99,25%</p> <p data-bbox="642 603 900 632">Sensitivitas = 43,83%</p> <p data-bbox="642 635 900 663">Spesifisitas = 99,75%</p>
 <p data-bbox="292 935 474 963">ASF Iterasi = 2</p> <p data-bbox="276 967 489 995">Akurasi = 99,62%</p> <p data-bbox="254 999 511 1027">Sensitivitas = 63,30%</p> <p data-bbox="254 1031 511 1059">Spesifisitas = 99,97%</p>	 <p data-bbox="680 935 863 963">ASF Iterasi = 3</p> <p data-bbox="665 967 878 995">Akurasi = 98,48%</p> <p data-bbox="642 999 900 1027">Sensitivitas = 25,61%</p> <p data-bbox="642 1031 900 1059">Spesifisitas = 99,82%</p>

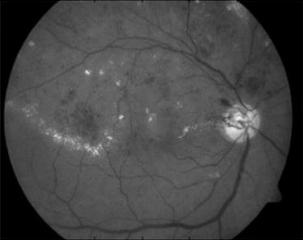
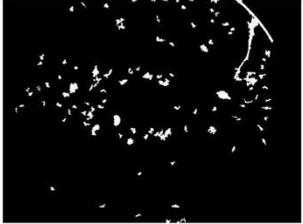
**Tabel A.8 Hasil Perbandingan Iterasi dari Proses *Alternating Sequential Filter* pada image015.png**

 <p data-bbox="260 541 508 568"><i>Citra Green Chaneel</i></p>	 <p data-bbox="642 541 899 671">ASF Iterasi = 1 Akurasi = 98,64% Sensitivitas = 73,26% Spesifisitas = 98,89%</p>
 <p data-bbox="255 940 511 1066">ASF Iterasi = 2 Akurasi = 99,12% Sensitivitas = 77,81% Spesifisitas = 99,48%</p>	 <p data-bbox="642 940 899 1066">ASF Iterasi = 3 Akurasi = 97,9% Sensitivitas = 45,31% Spesifisitas = 99,53%</p>

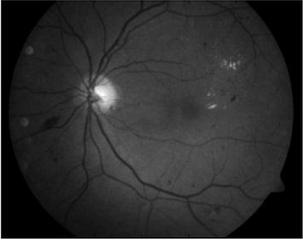
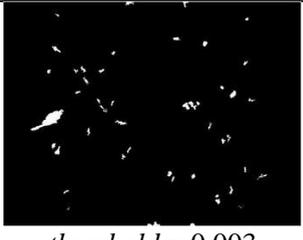
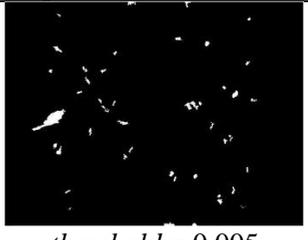
**Tabel A.9 Hasil Perbandingan Nilai *Threshold* dari Binerisasi Citra Pertama pada image014.png**

 <p>Citra <i>Green Chaneel</i></p>	 <p><i>threshold</i> = 0,001            Akurasi = 99,20%            Sensitivitas = 78,81%            Spesifisitas = 99,80%</p>
 <p><i>threshold</i> = 0,003            Akurasi = 99,21%            Sensitivitas = 79,02%            Spesifisitas = 99,80%</p>	 <p><i>threshold</i> = 0,005            Akurasi = 99,36%            Sensitivitas = 82,25%            Spesifisitas = 99,86%</p>
 <p><i>threshold</i> = 0,007            Akurasi = 99,30%            Sensitivitas = 82,25%            Spesifisitas = 99,78%</p>	 <p><i>threshold</i> = 0,009            Akurasi = 99,26%            Sensitivitas = 82,38%            Spesifisitas = 99,72%</p>

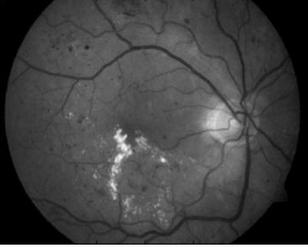
**Tabel A.10 Hasil Perbandingan Nilai *Threshold* dari Binerisasi Citra Pertama pada image016.png**

 <p><i>Citra Green Chaneel</i></p>	 <p><i>threshold = 0,001</i>            Akurasi = 98,77%            Sensitivitas = 78,60%            Spesifisitas = 99,41%</p>
 <p><i>threshold = 0,003</i>            Akurasi = 98,80%            Sensitivitas = 80,24%            Spesifisitas = 99,37%</p>	 <p><i>threshold = 0,005</i>            Akurasi = 98,85%            Sensitivitas = 81,82%            Spesifisitas = 99,36%</p>
 <p><i>threshold = 0,007</i>            Akurasi = 98,82%            Sensitivitas = 81,72%            Spesifisitas = 99,32%</p>	 <p><i>threshold = 0,009</i>            Akurasi = 98,74%            Sensitivitas = 81,32%            Spesifisitas = 99,24%</p>

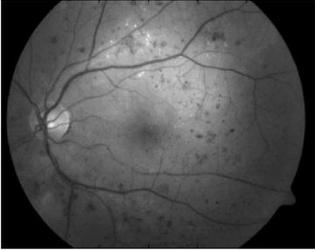
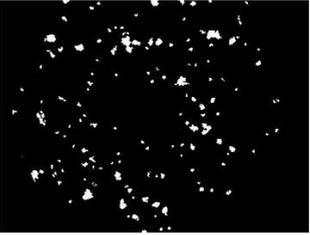
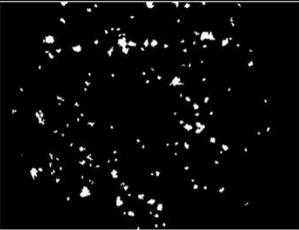
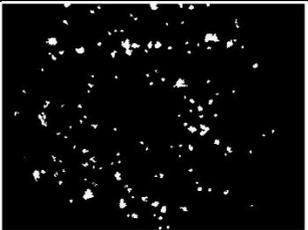
**Tabel A.11 Hasil Perbandingan Nilai *Threshold* dari Binerisasi Citra Pertama pada image018.png**

 <p><i>Citra Green Chaneel</i></p>	 <p><i>threshold = 0,001</i>            Akurasi = 99,36%            Sensitivitas = 67,82%            Spesifisitas = 99,79%</p>
 <p><i>threshold = 0,003</i>            Akurasi = 99,49%            Sensitivitas = 75,75%            Spesifisitas = 99,77%</p>	 <p><i>threshold = 0,005</i>            Akurasi = 99,52%            Sensitivitas = 77,83%            Spesifisitas = 99,77%</p>
 <p><i>threshold = 0,007</i>            Akurasi = 99,50%            Sensitivitas = 77,64%            Spesifisitas = 99,74%</p>	 <p><i>threshold = 0,009</i>            Akurasi = 99,48%            Sensitivitas = 77,31%            Spesifisitas = 99,72%</p>

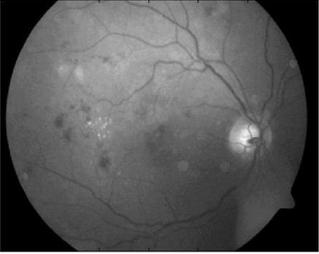
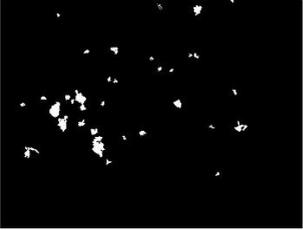
**Tabel A.12 Hasil Perbandingan Nilai *Threshold* dari Binerisasi Citra Pertama pada image019.png**

 <p><i>Citra Green Chaneel</i></p>	 <p><i>threshold = 0,001</i>            Akurasi = 98,16%            Sensitivitas = 76,47%            Spesifisitas = 98,68%</p>
 <p><i>threshold = 0,003</i>            Akurasi = 98,18%            Sensitivitas = 77,87%            Spesifisitas = 98,65%</p>	 <p><i>threshold = 0,005</i>            Akurasi = 98,32%            Sensitivitas = 81,38%            Spesifisitas = 98,70%</p>
 <p><i>threshold = 0,007</i>            Akurasi = 98,20%            Sensitivitas = 79,20%            Spesifisitas = 98,62%</p>	 <p><i>threshold = 0,009</i>            Akurasi = 98,15%            Sensitivitas = 79,01%            Spesifisitas = 98,56%</p>

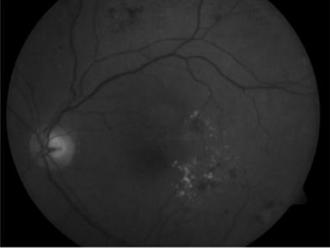
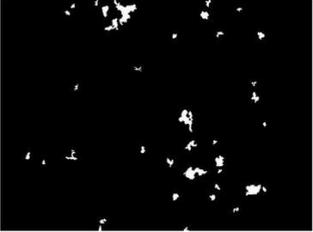
**Tabel A.13 Hasil Perbandingan Nilai *Threshold* dari Binerisasi Citra Pertama pada image021.png**

 <p>Citra <i>Green Chaneel</i></p>	 <p><i>threshold</i> = 0,001            Akurasi = 98,83%            Sensitivitas = 83,47%            Spesifisitas = 99,27%</p>
 <p><i>threshold</i> = 0,003            Akurasi = 98,92%            Sensitivitas = 85,60%            Spesifisitas = 99,29%</p>	 <p><i>threshold</i> = 0,005            Akurasi = 99,09%            Sensitivitas = 88,12%            Spesifisitas = 99,30%</p>
 <p><i>threshold</i> = 0,007            Akurasi = 99%            Sensitivitas = 88,43%            Spesifisitas = 99,29%</p>	 <p><i>threshold</i> = 0,009            Akurasi = 99,23%            Sensitivitas = 87,56%            Spesifisitas = 98,93%</p>

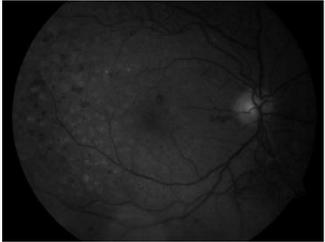
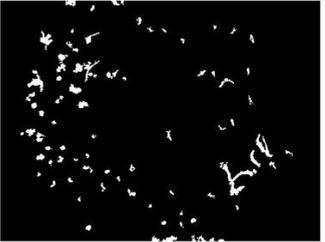
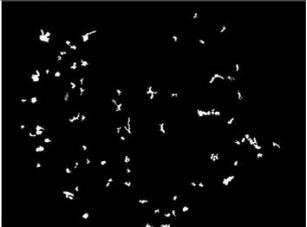
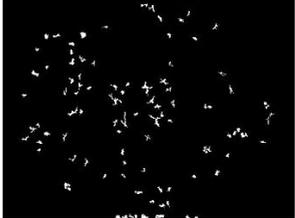
**Tabel A.14 Hasil Perbandingan Nilai *Threshold* dari Binerisasi Citra Pertama pada image023.png**

 <p>Citra <i>Green Chaneel</i></p>	 <p><i>threshold</i> = 0,001 Akurasi = 99,39% Sensitivitas = 79,07% Spesifisitas = 99,68%</p>
 <p><i>threshold</i> = 0,003 Akurasi = 99,40% Sensitivitas = 80% Spesifisitas = 99,68%</p>	 <p><i>threshold</i> = 0,005 Akurasi = 99,46% Sensitivitas = 82,74% Spesifisitas = 99,70%</p>
 <p><i>threshold</i> = 0,007 Akurasi = 99,32% Sensitivitas = 81,19% Spesifisitas = 99,51%</p>	 <p><i>threshold</i> = 0,009 Akurasi = 99,30% Sensitivitas = 81,90% Spesifisitas = 99,50%</p>

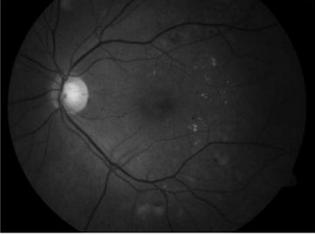
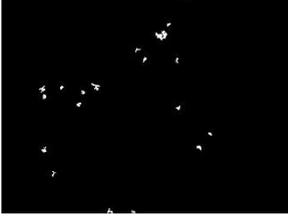
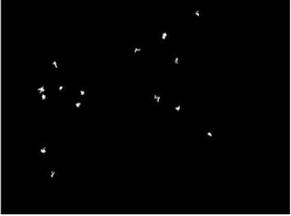
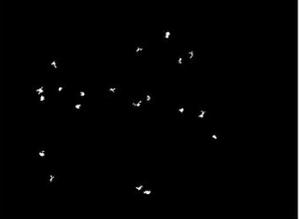
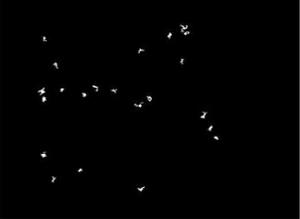
**Tabel A.15 Hasil Perbandingan Ukuran Structuring Element untuk Proses Bottom-Hat Transform pada image024.png**

 <p data-bbox="260 533 508 560"><i>Citra Green Chaneel</i></p>	 <p data-bbox="642 517 900 647">           Ukuran SE = 5            Akurasi = 98,84%            Sensitivitas = 67,42%            Spesifisitas = 99,41%         </p>
 <p data-bbox="255 892 512 1019">           Ukuran SE = 10            Akurasi = 99,02%            Sensitivitas = 75,73%            Spesifisitas = 99,38%         </p>	 <p data-bbox="642 892 900 1019">           Ukuran SE = 15            Akurasi = 98,54%            Sensitivitas = 63,75%            Spesifisitas = 98,94%         </p>
 <p data-bbox="255 1248 512 1375">           Ukuran SE = 20            Akurasi = 98,40%            Sensitivitas = 58,69%            Spesifisitas = 98,81%         </p>	 <p data-bbox="642 1248 900 1375">           Ukuran SE = 25            Akurasi = 98,34%            Sensitivitas = 57,19%            Spesifisitas = 98,69%         </p>

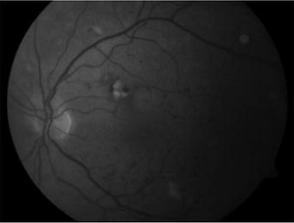
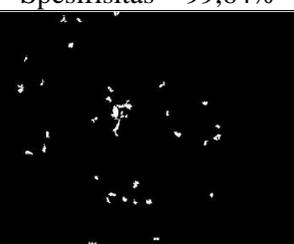
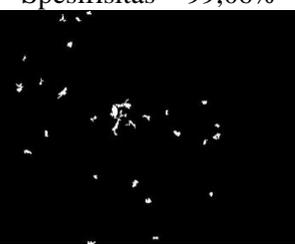
**Tabel A.16 Hasil Perbandingan Ukuran Structuring Element untuk Proses Bottom-Hat Transform pada image026.png**

 <p><i>Citra Green Chaneel</i></p>	 <p>Ukuran SE = 5            Akurasi = 98,38%            Sensitivitas = 70,47%            Spesifisitas = 99,24%</p>
 <p>Ukuran SE = 10            Akurasi = 98,69%            Sensitivitas = 78,53%            Spesifisitas = 99,25%</p>	 <p>Ukuran SE = 15            Akurasi = 97,56%            Sensitivitas = 60,87%            Spesifisitas = 98,28%</p>
 <p>Ukuran SE = 20            Akurasi = 96,64%            Sensitivitas = 35,46%            Spesifisitas = 97,73%</p>	 <p>Ukuran SE = 25            Akurasi = 96,41%            Sensitivitas = 28,50%            Spesifisitas = 97,60%</p>

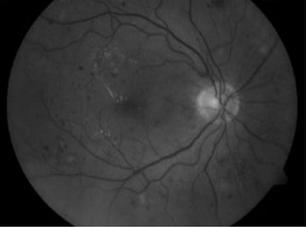
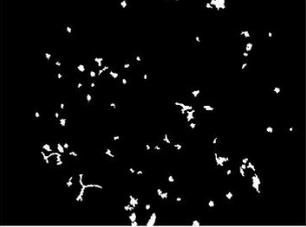
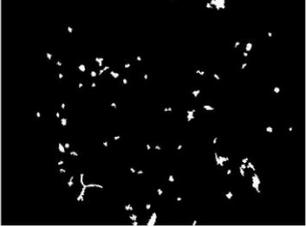
**Tabel A.17 Hasil Perbandingan Ukuran Structuring Element untuk Proses Bottom-Hat Transform pada image053.png**

 <p data-bbox="258 520 508 547"><i>Citra Green Chaneel</i></p>	 <p data-bbox="645 520 899 651">Ukuran SE = 5 Akurasi = 98,98% Sensitivitas = 23,70% Spesifisitas = 99,91%</p>
 <p data-bbox="255 876 510 1007">Ukuran SE = 10 Akurasi = 99,89% Sensitivitas = 82,47% Spesifisitas = 99,96%</p>	 <p data-bbox="645 876 899 1007">Ukuran SE = 15 Akurasi = 99,74% Sensitivitas = 71,81% Spesifisitas = 99,81%</p>
 <p data-bbox="255 1235 510 1367">Ukuran SE = 20 Akurasi = 99,65% Sensitivitas = 53,32% Spesifisitas = 99,81%</p>	 <p data-bbox="645 1235 899 1367">Ukuran SE = 25 Akurasi = 99,57% Sensitivitas = 43,11% Spesifisitas = 99,79%</p>

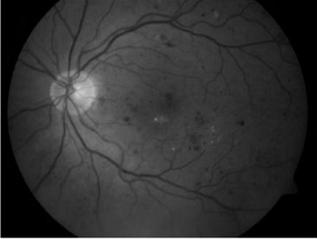
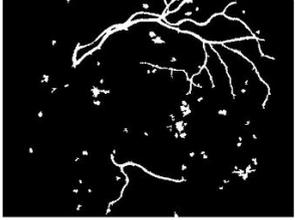
**Tabel A.18 Hasil Perbandingan Ukuran Structuring Element untuk Proses Bottom-Hat Transform pada image065.png**

 <p data-bbox="258 501 508 528"><i>Citra Green Chaneel</i></p>	 <p data-bbox="684 501 860 528">Ukuran SE = 5</p> <p data-bbox="665 536 879 563">Akurasi = 98,97%</p> <p data-bbox="642 571 901 598">Sensitivitas = 75,43%</p> <p data-bbox="642 606 901 633">Spesifisitas = 99,31%</p>
 <p data-bbox="288 871 479 898">Ukuran SE = 10</p> <p data-bbox="277 906 490 933">Akurasi = 99,33%</p> <p data-bbox="255 941 512 968">Sensitivitas = 81,48%</p> <p data-bbox="255 976 512 1003">Spesifisitas = 99,64%</p>	 <p data-bbox="677 871 868 898">Ukuran SE = 15</p> <p data-bbox="666 906 879 933">Akurasi = 98,85%</p> <p data-bbox="644 941 901 968">Sensitivitas = 78,55%</p> <p data-bbox="644 976 901 1003">Spesifisitas = 99,06%</p>
 <p data-bbox="288 1246 479 1273">Ukuran SE = 20</p> <p data-bbox="277 1281 490 1308">Akurasi = 98,56%</p> <p data-bbox="255 1316 512 1343">Sensitivitas = 67,11%</p> <p data-bbox="255 1351 512 1378">Spesifisitas = 98,84%</p>	 <p data-bbox="677 1246 868 1273">Ukuran SE = 25</p> <p data-bbox="666 1281 879 1308">Akurasi = 98,34%</p> <p data-bbox="644 1316 901 1343">Sensitivitas = 55,15%</p> <p data-bbox="644 1351 901 1378">Spesifisitas = 98,70%</p>

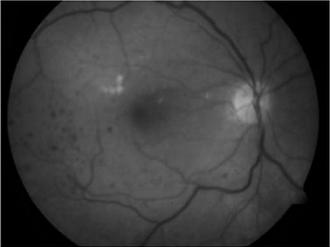
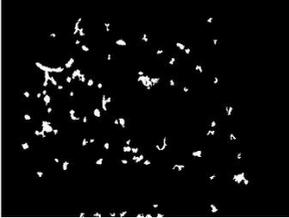
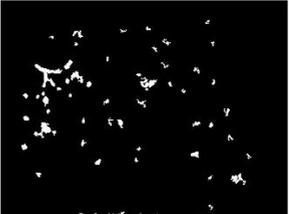
**Tabel A.19 Hasil Perbandingan Ukuran Structuring Element untuk Proses Bottom-Hat Transform pada image066.png**

 <p><i>Citra Green Chaneel</i></p>	 <p>Ukuran SE = 5 Akurasi = 98,34% Sensitivitas = 55,83% Spesifisitas = 99,46%</p>
 <p>Ukuran SE = 10 Akurasi = 98,93% Sensitivitas = 71,83% Spesifisitas = 99,49%</p>	 <p>Ukuran SE = 15 Akurasi = 98,73% Sensitivitas = 71,76% Spesifisitas = 99,17%</p>
 <p>Ukuran SE = 20 Akurasi = 98,34% Sensitivitas = 61,48% Spesifisitas = 98,82%</p>	 <p>Ukuran SE = 25 Akurasi = 98,02% Sensitivitas = 49,14% Spesifisitas = 98,55%</p>

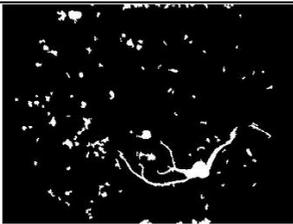
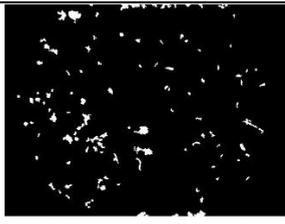
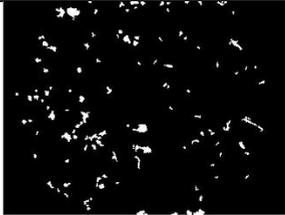
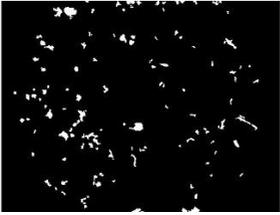
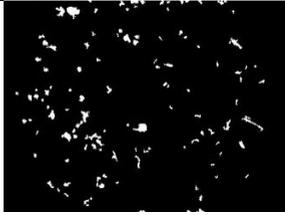
**Tabel A.20 Hasil Perbandingan Ukuran Structuring Element untuk Proses Bottom-Hat Transform pada image067.png**

 <p><i>Citra Green Chaneel</i></p>	 <p>Ukuran SE = 5 Akurasi = 95,69% Sensitivitas = 24,89% Spesifisitas = 99,57%</p>
 <p>Ukuran SE = 10 Akurasi = 99,35% Sensitivitas = 83,69% Spesifisitas = 99,60%</p>	 <p>Ukuran SE = 15 Akurasi = 99,04% Sensitivitas = 78,06% Spesifisitas = 99,32%</p>
 <p>Ukuran SE = 20 Akurasi = 98,37% Sensitivitas = 52,35% Spesifisitas = 99,08%</p>	 <p>Ukuran SE = 25 Akurasi = 98,04% Sensitivitas = 41,35% Spesifisitas = 98,89%</p>

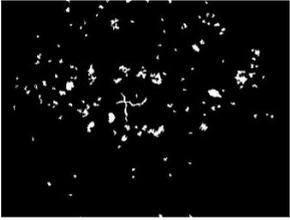
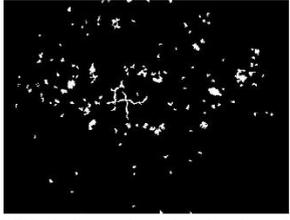
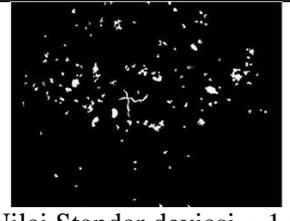
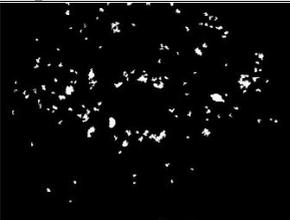
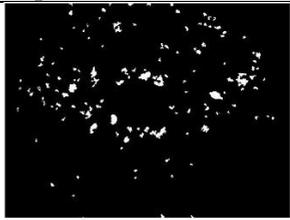
**Tabel A.21 Hasil Perbandingan Ukuran Structuring Element untuk Proses Bottom-Hat Transform pada image084.png**

 <p><i>Citra Green Chaneel</i></p>	 <p>Ukuran SE = 5 Akurasi = 97,15% Sensitivitas = 43,56% Spesifisitas = 43,56%</p>
 <p>Ukuran SE = 10 Akurasi = 98,54% Sensitivitas = 61,47% Spesifisitas = 99,83%</p>	 <p>Ukuran SE = 15 Akurasi = 98,35% Sensitivitas = 59,75% Spesifisitas = 99,55%</p>
 <p>Ukuran SE = 20 Akurasi = 98,41% Sensitivitas = 63,02% Spesifisitas = 99,32%</p>	 <p>Ukuran SE = 25 Akurasi = 98,31% Sensitivitas = 62,46% Spesifisitas = 99,13%</p>

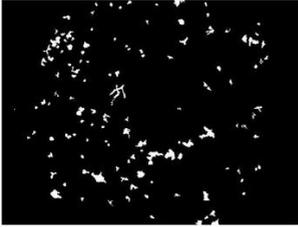
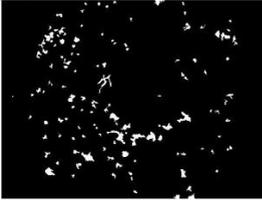
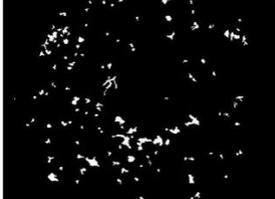
**Tabel A.22 Hasil Perbandingan Nilai Standar Deviasi dari 2D Gaussian Low Pass filter pada image014.png**

 <p>           Nilai standar deviasi = 0,5            Akurasi = 97,79%            Sensitivitas = 52,72%            Spesifisitas = 99,73%         </p>	 <p>           Nilai Standar deviasi = 1            Akurasi = 98,89%            Sensitivitas = 74,29%            Spesifisitas = 99,58%         </p>
 <p>           Nilai Standar deviasi = 1,5            Akurasi = 98,94%            Sensitivitas = 74,8%            Spesifisitas = 99,62%         </p>	 <p>           Nilai Standar deviasi = 2            Akurasi = 99,22%            Sensitivitas = 78,66%            Spesifisitas = 99,83%         </p>
 <p>           Nilai Standar deviasi = 2,5            Akurasi = 99,36%            Sensitivitas = 82,25%            Spesifisitas = 99,86%         </p>	 <p>           Nilai Standar deviasi = 3            Akurasi = 99,30%            Sensitivitas = 81,58%            Spesifisitas = 99,85%         </p>

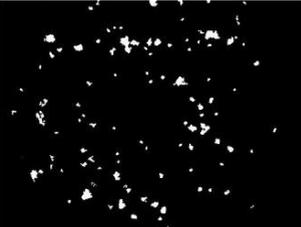
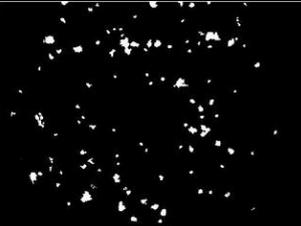
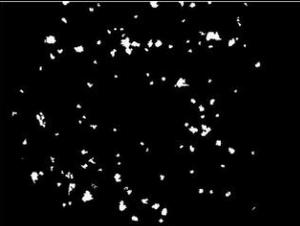
**Tabel A.23 Hasil Perbandingan Nilai Standar Deviasi dari 2D Gaussian Low Pass filter pada image016.png**

 <p>           Nilai standar deviasi = 0,5            Akurasi = 98,68%            Sensitivitas = 81,46%            Spesifisitas = 99,12%         </p>	 <p>           Nilai Standar deviasi = 1            Akurasi = 98,17%            Sensitivitas = 72,51%            Spesifisitas = 98,79%         </p>
 <p>           Nilai Standar deviasi = 1,5            Akurasi = 98,39%            Sensitivitas = 77,13%            Spesifisitas = 98,90%         </p>	 <p>           Nilai Standar deviasi = 2            Akurasi = 98,73%            Sensitivitas = 83,95%            Spesifisitas = 99,09%         </p>
 <p>           Nilai Standar deviasi = 2,5            Akurasi = 98,89%            Sensitivitas = 87,81%            Spesifisitas = 99,16%         </p>	 <p>           Nilai Standar deviasi = 3            Akurasi = 98,82%            Sensitivitas = 87,65%            Spesifisitas = 99,08%         </p>

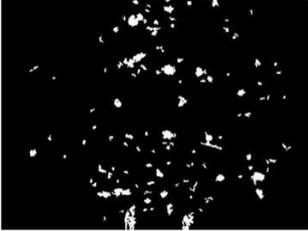
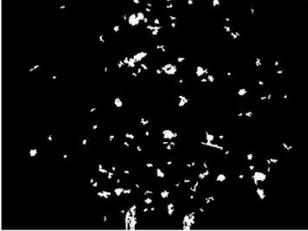
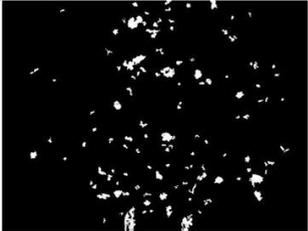
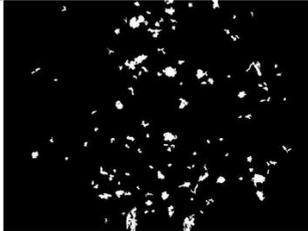
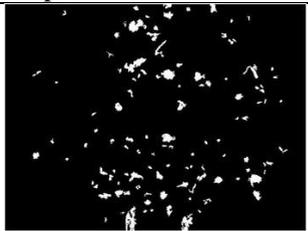
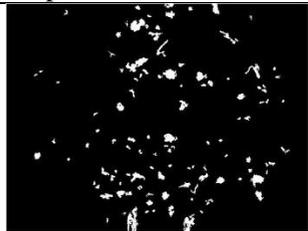
**Tabel A.24 Hasil Perbandingan Nilai Standar Deviasi dari 2D Gaussian Low Pass filter pada image019.png**

 <p>           Nilai standar deviasi = 0,5            Akurasi = 98,50%            Sensitivitas = 77,40%            Spesifisitas = 99,12%         </p>	 <p>           Nilai Standar deviasi = 1            Akurasi = 98,47%            Sensitivitas = 78,17%            Spesifisitas = 99,04%         </p>
 <p>           Nilai Standar deviasi = 1,5            Akurasi = 98,62%            Sensitivitas = 78,44%            Spesifisitas = 99,23%         </p>	 <p>           Nilai Standar deviasi = 2            Akurasi = 98,63%            Sensitivitas = 78,31%            Spesifisitas = 99,26%         </p>
 <p>           Nilai Standar deviasi = 2,5            Akurasi = 98,76%            Sensitivitas = 80,76%            Spesifisitas = 99,32%         </p>	 <p>           Nilai Standar deviasi = 3            Akurasi = 98,59%            Sensitivitas = 78,24%            Spesifisitas = 99,20%         </p>

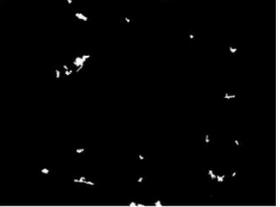
**Tabel A.25 Hasil Perbandingan Nilai Standar Deviasi dari 2D Gaussian Low Pass filter pada image021.png**

 <p>           Nilai standar deviasi = 0,5            Akurasi = 98,63%            Sensitivitas = 83,13%            Spesifisitas = 99,03%         </p>	 <p>           Nilai Standar deviasi = 1            Akurasi = 98,83%            Sensitivitas = 87,73%            Spesifisitas = 99,11%         </p>
 <p>           Nilai Standar deviasi = 1,5            Akurasi = 98,77%            Sensitivitas = 86,60%            Spesifisitas = 99,07%         </p>	 <p>           Nilai Standar deviasi = 2            Akurasi = 98,78%            Sensitivitas = 88,12%            Spesifisitas = 99,02%         </p>
 <p>           Nilai Standar deviasi = 2,5            Akurasi = 98,91%            Sensitivitas = 88,93%            Spesifisitas = 99,17%         </p>	 <p>           Nilai Standar deviasi = 3            Akurasi = 98,79%            Sensitivitas = 84,94%            Spesifisitas = 99,16%         </p>

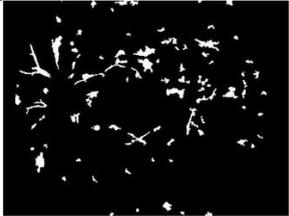
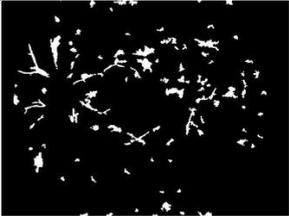
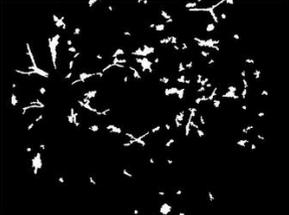
**Tabel A.26 Hasil Perbandingan Nilai Standar Deviasi dari 2D Gaussian Low Pass filter pada image022.png**

 <p>           Nilai standar deviasi = 0,5            Akurasi = 98,90%            Sensitivitas = 84,40%            Spesifisitas = 99,42%         </p>	 <p>           Nilai Standar deviasi = 1            Akurasi = 98,91%            Sensitivitas = 85,25%            Spesifisitas = 99,38%         </p>
 <p>           Nilai Standar deviasi = 1,5            Akurasi = 99,02%            Sensitivitas = 88,33%            Spesifisitas = 99,38%         </p>	 <p>           Nilai Standar deviasi = 2            Akurasi = 99,13%            Sensitivitas = 87,07%            Spesifisitas = 99,56%         </p>
 <p>           Nilai Standar deviasi = 2,5            Akurasi = 99,31%            Sensitivitas = 89,05%            Spesifisitas = 99,69%         </p>	 <p>           Nilai Standar deviasi = 3            Akurasi = 99,23%            Sensitivitas = 87,55%            Spesifisitas = 99,66%         </p>

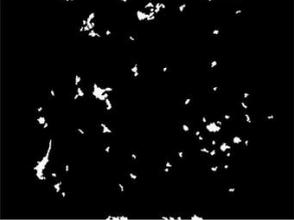
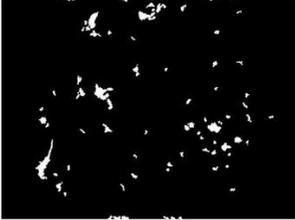
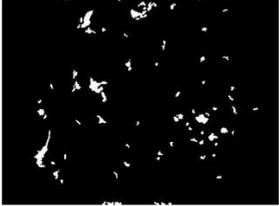
**Tabel A.27 Hasil Perbandingan Nilai Threshold untuk Binerisasi Citra Hasil Segmentasi Pembuluh Darah pada image003.png**

 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,0001            Akurasi = 99,55%            Sensitivitas = 73,82%            Spesifisitas = 99,74%         </p>	 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,0005            Akurasi = 99,58%            Sensitivitas = 73,75%            Spesifisitas = 99,78%         </p>
 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,001            Akurasi = 99,56%            Sensitivitas = 71,77%            Spesifisitas = 99,78%         </p>	 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,005            Akurasi = 99,34%            Sensitivitas = 56,13%            Spesifisitas = 99,79%         </p>
 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,01            Akurasi = 98,75%            Sensitivitas = 35,74%            Spesifisitas = 99,79%         </p>	

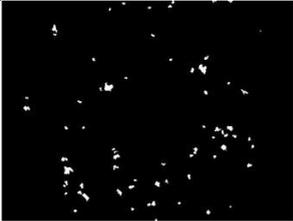
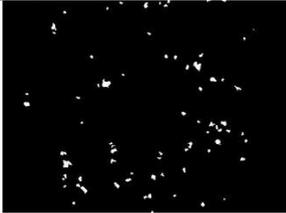
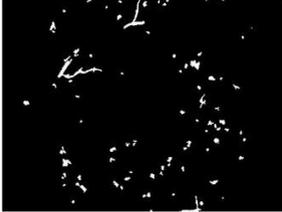
**Tabel A.28 Hasil Perbandingan Nilai Threshold untuk Binerisasi Citra Hasil Segmentasi Pembuluh Darah pada image005.png**

 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,0001            Akurasi = 98,01%            Sensitivitas = 70,55%            Spesifisitas = 99,27%         </p>	 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,0005            Akurasi = 98,16%            Sensitivitas = 70,67%            Spesifisitas = 99,52%         </p>
 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,001            Akurasi = 98,14%            Sensitivitas = 70,28%            Spesifisitas = 99,52%         </p>	 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,005            Akurasi = 97,70%            Sensitivitas = 64,19%            Spesifisitas = 99,55%         </p>
 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,01            Akurasi = 97,41%            Sensitivitas = 61,15%            Spesifisitas = 99,45%         </p>	

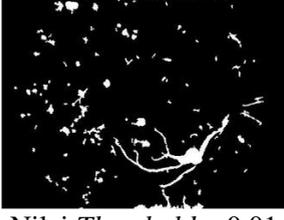
**Tabel A.29 Hasil Perbandingan Nilai Threshold untuk Binerisasi Citra Hasil Segmentasi Pembuluh Darah pada image008.png**

 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,0001            Akurasi = 99,19%            Sensitivitas = 79,95%            Spesifisitas = 99,67%         </p>	 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,0005            Akurasi = 99,32%            Sensitivitas = 81,79%            Spesifisitas = 99,76%         </p>
 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,001            Akurasi = 99,29%            Sensitivitas = 80,66%            Spesifisitas = 99,77%         </p>	 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,005            Akurasi = 98,81%            Sensitivitas = 67,71%            Spesifisitas = 99,77%         </p>
 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,01            Akurasi = 98,37%            Sensitivitas = 59,10%            Spesifisitas = 99,77%         </p>	

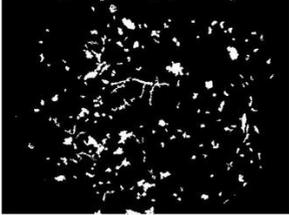
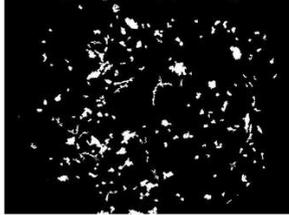
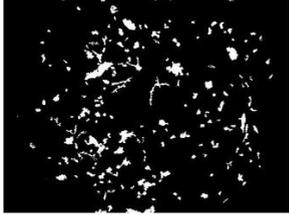
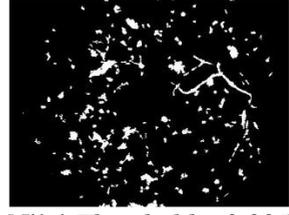
**Tabel A.30 Hasil Perbandingan Nilai Threshold untuk Binerisasi Citra Hasil Segmentasi Pembuluh Darah pada image011.png**

 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,0001            Akurasi = 99,45%            Sensitivitas = 91,16%            Spesifisitas = 99,54%         </p>	 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,0005            Akurasi = 99,50%            Sensitivitas = 91,47%            Spesifisitas = 99,60%         </p>
 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,001            Akurasi = 99,43%            Sensitivitas = 86,76%            Spesifisitas = 99,59%         </p>	 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,005            Akurasi = 99,01%            Sensitivitas = 66,93%            Spesifisitas = 99,49%         </p>
 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,01            Akurasi = 98,46%            Sensitivitas = 48,61%            Spesifisitas = 99,48%         </p>	

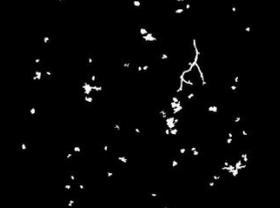
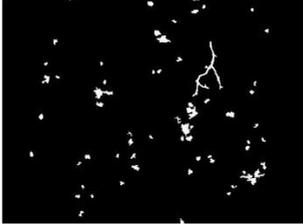
**Tabel A.31 Hasil Perbandingan Nilai Threshold untuk Binerisasi Citra Hasil Segmentasi Pembuluh Darah pada image014.png**

 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,0001            Akurasi = 99,18%            Sensitivitas = 78,74%            Spesifisitas = 99,78%         </p>	 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,0005            Akurasi = 99,36%            Sensitivitas = 82,25%            Spesifisitas = 99,86%         </p>
 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,001            Akurasi = 99,19%            Sensitivitas = 78,20%            Spesifisitas = 99,82%         </p>	 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,005            Akurasi = 98,93%            Sensitivitas = 72,43%            Spesifisitas = 99,77%         </p>
 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,01            Akurasi = 97,14%            Sensitivitas = 45,64%            Spesifisitas = 99,77%         </p>	

**Tabel A.32 Hasil Perbandingan Nilai Threshold untuk Binerisasi Citra Hasil Segmentasi Pembuluh Darah pada image020.png**

 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,0001            Akurasi = 99,15%            Sensitivitas = 91,04%            Spesifisitas = 99,61%         </p>	 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,0005            Akurasi = 99,51%            Sensitivitas = 95,28%            Spesifisitas = 99,75%         </p>
 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,001            Akurasi = 99,19%            Sensitivitas = 89,93%            Spesifisitas = 99,74%         </p>	 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,005            Akurasi = 97,97%            Sensitivitas = 76,33%            Spesifisitas = 99,36%         </p>
 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,01            Akurasi = 96,88%            Sensitivitas = 66,17%            Spesifisitas = 99%         </p>	

**Tabel A.33 Hasil Perbandingan Nilai Threshold untuk Binerisasi Citra Hasil Segmentasi Pembuluh Darah pada image067.png**

 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,0001            Akurasi = 99,33%            Sensitivitas = 84,15%            Spesifisitas = 99,57%         </p>	 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,0005            Akurasi = 99,35%            Sensitivitas = 83,69%            Spesifisitas = 99,60%         </p>
 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,001            Akurasi = 99,32%            Sensitivitas = 83,56%            Spesifisitas = 99,58%         </p>	 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,005            Akurasi = 98,94%            Sensitivitas = 67,08%            Spesifisitas = 99,55%         </p>
 <p>           Nilai <i>Threshold</i> = 0,01            Akurasi = 98,89%            Sensitivitas = 65,32%            Spesifisitas = 99,55%         </p>	

## BIODATA PENULIS



Pradita Larasati Angganingtyas, penulis dari buku Tugas Akhir ini lahir di kota Jakarta pada tanggal 29 September 1992. Penulis adalah anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan di SDI Al-Azhar 23 Jatikramat-Bekasi (1998-2004), SMP Negeri 3 Malang (2004-2007), SMA Negeri 3 Malang (2007-2010) dan terakhir di Teknik Informatika ITS Surabaya (2010-2014). Selama masa perkuliahan, penulis pernah menjadi asisten pada mata kuliah Kecerdasan Komputasional. Penulis juga aktif sebagai anggota organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Computer-Informatika (HMTC) ITS. Penulis memilih bidang minat Komputasi Cerdas dan Visualisasi (KCV) dan tertarik pada topik pengolahan citra. Penulis dapat dihubungi melalui email, [praditalaras@gmail.com](mailto:praditalaras@gmail.com).