

**IMPLEMENTASI ALGORITMA MORFOLOGI TERHADAP
FITUR DIABETIC RETINOPATHY PADA CITRA MATA**

SKRIPSI

Oleh:

JUNE MAHDHY BARIQ SUBATA

NIM. 08650084



**JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2015**

**IMPLEMENTASI ALGORITMA MORFOLOGI TERHADAP FITUR
DIABETIC RETINOPATHY PADA CITRA MATA**

SKRIPSI

**Diajukan Kepada:
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S. Kom)**

Oleh:

**JUNE MAHDHY BARIQ SUBATA
NIM. 08650084**

**JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2015**

**IMPLEMENTASI ALGORITMA MORFOLOGI TERHADAP FITUR
DIABETIC RETINOPATHY PADA CITRA MATA**

Oleh

JUNE MAHDHY BARIQ SUBATA
NIM. 08650084

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:

Tanggal, 19 Juni 2015

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

Dr. Ir. M. Amin Hariyadi, M.T
NIP. 19670118 200501 1 001

Dr. Cahyo Crysdiان
NIP. 19740424 200901 1 008

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Informatika

Dr. Cahyo Crysdiان
NIP. 19740424 200901 1 008

**IMPLEMENTASI ALGORITMA MORFOLOGI TERHADAP FITUR
DIABETIC RETINOPATHY PADA CITRA MATA**

SKRIPSI

Oleh:
JUNE MAHDHY BARIQ SUBATA
NIM. 08650084

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Tanggal: 19 Juni 2015

Susunan Dewan Penguji:	Tanda Tangan
1. Penguji Utama : A'la Syauqi, M.Kom NIP. 19770103 201101 1 004	()
2. Ketua : Irwan Budi Santoso, M.Kom NIP. 19771201 200801 1 007	()
3. Sekretaris : Dr. Ir. M. Amin Hariyadi, M.T NIP. 19670118 200501 1 001	()
4. Anggota : Dr. Cahyo Crysdiyan, M.CS NIP. 19740424 200901 1 008	()

**Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Jurusan Teknik informatika**

Dr. Cahyo Crysdiyan, M.CS
NIP. 19740424 200901 1 008

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : June Mahdhy Bariq Subata
NIM : 08650084
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Teknik Informatika
Judul Skripsi : IMPLEMENTASI ALGORITMA MORFOLOGI
TERHADAP FITUR DIABETIC RETINOPATHY PADA
CITRA MATA.

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.
2. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan, maka saya bersedia untuk mempertanggungjawabkan, serta menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 19 Juni 2015
Yang membuat pernyataan,

June Mahdhy Bariq Subata
NIM. 08650084

MOTTO

”Berbuatlah kebaikan dimanapun dan kapanpun”



Semoga Tugas Akhir Skripsi Ini Bermanfaat Dunia dan Akhirat

Skripsi ini kupersembahkan kepada:

Kedua Orang Tuaku Tercinta; Sofwan Hadi Dan Irchamna Kamalia Yang Mendidikku Untuk Berprestasi Sejak Lahir.. Semoga Sehat Selalu Dan Panjang Umur.. Aamiin.

Keluarga, Saudara-Saudara, Yang Selalu Mendukung Kesuksesan Saya.. Semoga Sehat Selalu Dan Panjang Umur.. Aamiin.

Dosen-Dosen Teknik Informatika Yang Saya Hormati.. Semoga Sehat Selalu Dan Panjang Umur.. Aamiin.

Kawan-Kawan Yang Saya Sayangi, Semoga Sehat Selalu Dan Panjang Umur.. Aamiin.

Terima Kasih Atas Semuanya..



KATA PENGANTAR

Segala Puji Bagi Allah Tuhan Semesta Alam atas segala nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir berjudul:

IMPLEMENTASI ALGORITMA MORFOLOGI TERHADAP FITUR DIABETIC RETINOPATHY PADA CITRA MATA

Penulis yakin bahwa pengerjaan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak, khususnya pada:

1. Keluarga tercinta, kedua Orang Tua tercinta yang mencintai dan menyayangi tanpa berharap imbalan.
2. Bapak Dr. M. Amin Hariyadi, M.T, Bapak Dr. Cahyo Crys dian, M.CS, atas segala bimbingan dan petunjuknya hingga tugas akhir skripsi ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya. Terima kasih banyak.
3. Segenap dosen pengajar Teknik Informatika UIN Malang dan semua dosen yang pernah mendidik di kampus tercinta.
4. Kawan-kawan semua yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu di sini.
Terima kasih untuk semuanya.

Penulis menyadari bahwa pengerjaan tugas akhir ini tak luput dari kekurangan. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis mohon maaf atas segala kekurangan yang ada. Semoga Tugas Akhir ini dapat menjadi sebuah referensi yang bermanfaat. Aamiin.

Malang, 28 Mei 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	6
1.3. Batasan Masalah	6
1.4. Tujuan	7
1.5. Manfaat	7
1.6. Metodologi	8
1.7. Sistematika Pembahasan	9
BAB II TINJAUAN TEORITIS	
2.1. Struktur Mata	11
2.2. <i>Diabetic Retinopathy</i>	14
2.3. Pengolahan Citra	20
2.4. <i>Preprocessing</i> Citra	21
2.5. Pengolahan Citra Morfologik	24
2.6. Morfologi Biner	27
2.6.1. Elemen Struktur	27
2.6.2. Operator Dasar	28
2.6.3. Properti Operator Dasar	31
2.6.4. Morfologi <i>Grayscale</i>	32

2.6.5. Fungsi Struktur Dasar	33
2.6.6. Morfologi Matematika pada Pola Geometris	34
2.6.7. Ajungsi (Dilasi dan Erosi)	34
2.6.8. <i>Opening</i> dan <i>Closing</i>	35
2.6.9. Kasus Khusus	35

BAB III DESAIN DAN IMPLEMENTASI

3.1. Deskripsi Sistem	36
3.2. Desain Sistem	37
3.2.1. Desain Antar Muka	37
3.2.2. Desain Data	39
3.2.3. Desain Proses	40
3.2.4. Desain Implementasi	44

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Lingkungan Uji Coba	57
4.2. Data Uji Coba	57
4.3. Hasil Uji Coba	58
4.4. Tampilan Aplikasi	59
4.5. Uji Coba Citra dengan Operator Dilasi	62
4.6. Uji Coba Citra dengan Operator Erosi	63
4.7. Uji Coba Citra dengan Operator <i>Opening</i>	64
4.8. Uji Coba Citra dengan Operator <i>Closing</i>	65

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	67
5.2. Saran	69

DAFTAR PUSTAKA	70
-----------------------------	----

LAMPIRAN	72
-----------------------	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	: Struktur mata manusia (Blausen, 2013)	11
Gambar 2	: Digital <i>fundus retina</i> normal	13
Gambar 3	: Oftalmoskop	13
Gambar 4	: Variasi fitur retinopati (Ravishankar, 2009)	15
Gambar 5	: <i>Hard Exudates</i> (Tomi Kauppi, 2006)	16
Gambar 6	: <i>Soft Exudates</i> (Tomi Kauppi, 2006)	17
Gambar 7	: <i>Cotton wool</i> (Tomi Kauppi, 2006)	17
Gambar 8	: <i>Neovascularisation</i> (Tomi Kauppi, 2006)	18
Gambar 9	: <i>Microaneurysm</i> (Tomi Kauppi, 2006)	18
Gambar 10	: <i>Hemorrhage</i> (Tomi Kauppi, 2006)	19
Gambar 11	: Fundus digital mata normal	20
Gambar 12	: Fundus digital mata <i>hemorrhage</i>	20
Gambar 13	: Contoh jendela ketetanggaan piksel 3x3	24
Gambar 14	: Contoh proses morfologi	26
Gambar 15	: Erosi persegi biru gelap oleh cakram	28
Gambar 16	: Dilasi persegi biru tua oleh piringan	29
Gambar 17	: <i>Opening</i> persegi biru gelap oleh cakram	30
Gambar 18	: <i>Closing</i> dua persegi biru gelap oleh cakram	31
Gambar 19	: <i>Flowchart</i> sistem secara keseluruhan	35
Gambar 20	: Rancangan antar muka dasar dan menu	37
Gambar 21	: Rancangan antar muka input dan output	38
Gambar 22	: Diagram alir sistem	40
Gambar 23	: Preprocessing citra fundus mata	41
Gambar 24	: Diagram alir proses morfologi	42
Gambar 25	: Proses elemen struktur	43
Gambar 26	: Diagram alir proses pemilihan nilai iterasi	43
Gambar 27	: Citra mata uji coba yang diindikasikan terdapat retinopati	58
Gambar 28	: Fitur retinopati	58
Gambar 29	: Tampilan awal aplikasi	59
Gambar 30	: Tampilan aplikasi ketika pengguna memasukkan citra	60
Gambar 31	: Tampilan kotak dialog pemilihan elemen struktur	61
Gambar 32	: Tampilan citra setelah dideteksi algoritma morfologi	61

DAFTAR TABEL

Tabel 1	: Lingkungan uji coba	57
Tabel 2	: Perbandingan hasil uji coba operator dilasi	62
Tabel 3	: Perbandingan hasil uji coba operator erosi	63
Tabel 4	: Perbandingan hasil uji coba operator <i>opening</i>	64
Tabel 5	: Perbandingan hasil uji coba operator <i>closing</i>	65



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	: Hasil Uji Coba Operator Dilasi	72
Lampiran 2	: Hasil Uji Coba Operator Erosi	73
Lampiran 3	: Hasil Uji Coba Operator <i>Opening</i>	74
Lampiran 4	: Hasil Uji Coba Operator <i>Closing</i>	75



ABSTRAK

Subata, June Mahdhy Bariq. 2015. **Implementasi Algoritma Morfologi Terhadap Fitur Diabetic Retinopathy Pada Citra Mata**. Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Malang. Pembimbing: (1) Dr. M. Amin Hariyadi, M.T (2) Dr. Cahyo Crysdiyan, M.CS

Kata Kunci : Matematika morfologi, morfologi biner, algoritma morfologi, *diabetic retinopathy*

Diabetic retinopathy merupakan kerusakan pada mata penderita *diabetes mellitus*. *Diabetic retinopathy* yang tidak segera diatasi dapat menyebabkan kebutaan. Tugas akhir ini berpusat pada pengamatan struktur fitur retinopati pada mata. Algoritma yang dipilih adalah algoritma morfologi. Metode algoritma morfologi ini akan diimplementasikan terhadap citra fundus mata yang diduga mengalami *diabetic retinopathy*.

Algoritma morfologi adalah teori dan analisa struktur geometrik berdasarkan pada elemen struktur (pola atomik), sehingga morfologi citra merupakan proses identifikasi bentuk pada citra biner dan *grayscale*. Uji coba dilakukan dengan operator-operator morfologi dilasi, erosi, *opening*, dan *closing*. Elemen struktur yang digunakan yaitu garis horisontal dan vertikal, persegi, wajik, dan rhombus. Elemen-elemen struktur ini digunakan untuk perbandingan dalam uji coba. Hasil uji coba menunjukkan bahwa operator morfologi dan elemen struktur banyak berpengaruh sesuai intensitas cahaya dari area fitur retinopati pada citra.

ABSTRACT

Subata, June Mahdhy Bariq. 2015. **Implementasi Algoritma Morfologi Terhadap Fitur Diabetic Retinopathy Pada Citra Mata**. Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Malang. Pembimbing: (1) Dr. M. Amin Hariyadi, M.T (2) Dr. Cahyo Crysdiyan, M.CS

Keywords : Morphological mathematic, binary morphology, morphology algorithm, *diabetic retinopathy*

Diabetic retinopathy is a damage occurred in eyes of patients with diabetes mellitus. Diabetic retinopathy that not addressed early can lead to blindness. This final task centered on the observation of retinopathy features structures in eyes. The selected algorithm is an algorithm morphology. This morphology algorithm method will be implemented on eye fundus image that suspected of having diabetic retinopathy.

Morphology algorithm is a theory and geometric structure analysis based on structural elements (atomic pattern), so the image morphology is the process of identifying forms in binary and grayscale images. The test is done by dilation, erosion, opening, and closing morphological operators. The used structural elements are horizontal and vertical lines, squares, diamonds, and rhombus. These structural elements are used for comparison in the trial. Experimental results show that the morphology operators and structural elements have much effect that agree with light intensity of retinopathy features area in the image.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Diabetes mellitus (DM) adalah penyakit kelebihan gula darah dalam periode waktu lama. *Diabetes* dapat menyebabkan berbagai komplikasi. Komplikasi jangka panjang berhubungan dengan pembuluh darah. Salah satunya yaitu kerusakan pada mata. Kerusakan pada mata ini dinamakan *diabetic retinopathy*, yaitu kerusakan pembuluh darah pada *retina* mata (Iqbal dkk, 2006). *Diabetic retinopathy* termasuk komplikasi *mikrovaskuler* akibat *diabetes mellitus* dan dapat menyerang fungsi penglihatan bahkan kebutaan. Gejala klinis dari *diabetic retinopathy* yaitu munculnya *mikroaneurisma* yang merupakan pembengkakan pembuluh darah berukuran mikro yang terlihat sebagai titik-titik kemerahan pada *retina* (I Ketut Gede Darma Putra, 2010). *Diabetic retinopathy* adalah penyebab utama kebutaan. WHO memperkirakan bahwa sekitar 135 juta orang menderita *diabetic retinopathy* di seluruh dunia pada masa kini dan diperkirakan jumlah orang dengan diabetes akan meningkat hingga 300 juta pada tahun 2025.

Diabetic Retinopathy dideteksi dalam pengujian mata oftalmoskopi (fotografi *fundus*) dimana ahli perawatan mata melaksanakan tahap-tahap berikut: (1) melihat melalui celah lampu biomikroskop dengan lensa pembesar khusus yang menyediakan penglihatan sempit *retina*, atau (2) memakai *headset* (oftalmoskop tak langsung) dengan cahaya terang, dan melihat melalui kaca pembesar khusus dan memperoleh penglihatan luas *retina*.

Oftalmoskopi *hand-held* tidak cukup untuk mengatasi *diabetic retinopathy* signifikan. Oftalmoskopi umumnya membuat kembali area *fundus* (bagian belakang mata) yang lebih besar,

dan punya kelebihan dalam dokumentasi foto untuk referensi lebih lanjut, sebagaimana dengan mengembangkan citra untuk diuji oleh spesialis di lokasi dan atau waktu lainnya.

Ahli oftalmologi mengenali *diabetic retinopathy* berdasarkan fitur, seperti, area pembuluh darah, *exudates*, *hemorrhages*, *microaneurysms*, dan tekstur. *Diabetic retinopathy* diklasifikasikan ke dalam tiga tingkatan *non-proliferative retinopathy*: kecil, menengah, dan parah, dan satu tingkatan *proliferative retinopathy*. *Hemorrhage* dan *microaneurysm* merupakan area yang dapat diamati yang pertama kali secara klinis mengindikasikan *diabetic retinopathy*. Analisa otomatis citra *retinal* telah menjadi ketertarikan bagi ahli oftalmologi dan peneliti dalam pengolahan citra digital. Tugas akhir ini berfokus pada penerapan algoritma morfologi terhadap keseluruhan fitur retinopati.

Retinopathy merupakan penyebab utama kebutaan pada orang dewasa (Sitompul, 2011). Risiko menderita retinopati DM meningkat sebanding dengan semakin lamanya seseorang menyandang DM. Faktor risiko lain untuk retinopati DM adalah ketergantungan insulin pada penyandang DM tipe II, *nefropathy*, dan hipertensi (American Diabetes Association, 2010). Sementara itu, pubertas dan kehamilan dapat mempercepat progresivitas retinopati DM (Garg S, 2009).

Teknologi pengolahan citra termasuk dalam teknologi pengolahan informasi yang mana saat ini berkembang pesat sehingga memberikan manfaat dan memudahkan manusia dalam berbagai pekerjaan. Teknologi pengolahan citra terus diperluas secara spesifik hingga aspek-aspek khusus tertentu. Pengolahan citra merupakan teknologi untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan gambar. Dalam pengolahan citra, gambar yang ada diolah sedemikian rupa sehingga gambar tersebut lebih mudah diproses untuk satu tujuan. Perkembangan teknologi pengolahan citra yang didukung dengan terjangkaunya harga alat-alat perekam data citra membuat

pemanfaatan data citra menjadi populer di banyak aplikasi laboratorium luar negeri, khususnya pada permasalahan medis dan praktek-praktek biologi. Ini dapat dimanfaatkan untuk mengatasi permasalahan penyakit *diabetic retinopathy*.

Oleh karena itu, dengan adanya kemudahan fasilitas teknologi di masa kini, perlu dikembangkan sebuah aplikasi yang melakukan pengujian terhadap algoritma morfologi sekaligus mampu mempelajari struktur fitur-fitur retinopati pada citra *fundus* mata, agar pengetahuan ahli oftalmologi tentang fitur retinopati semakin baik.

Penelitian ini menggunakan algoritma morfologi untuk mendeteksi sehingga kemudian dapat mengklasifikasi fitur retinopati. Tahapan proses yang dilalui dengan menggunakan algoritma morfologi yaitu memasukkan data citra mata *grayscale*d, memilih operator morfologi dan menentukan elemen struktur, menentukan jumlah iterasi, kemudian menampilkan *output*.

Berkaitan dengan penerapan algoritma morfologi pada fitur retinopati, peneliti berurusan dengan indera penglihatan yaitu bagaimana mata manusia mengamati fitur retinopati. Penglihatan manusia terbatas hanya pada skala tertentu. Manusia hanya bisa mengamati fitur retinopati pada penderita *diabetic retinopathy* sebagaimana yang tampak. Manusia tidak dapat mengamatinya dalam skala mikroskopik seperti warna mikro, karakter struktur dengan detail, dan sebagainya. Dikarenakan hal tersebut, manusia mengembangkan ilmu pengetahuan yang dipelajarinya untuk membantu pekerjaan manusia ini.

Penglihatan berkaitan erat dengan cahaya. Mata manusia normalnya memerlukan cahaya untuk dapat melihat semua benda. Sebagaimana yang dijelaskan sebelumnya, penglihatan manusia yang memerlukan cahaya ini pun masih terbatas.

Allah s.w.t berfirman:

اللَّهُ نُورُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ ۖ مَثَلُ نُورِهِ كَمِشْكَاةٍ فِيهَا
مِصْبَاحٌ الْمِصْبَاحُ فِي زُجَاجَةٍ ۖ الزُّجَاجَةُ كَأَنَّهَا كَوْكَبٌ
دُرِّيٌّ يُوقَدُ مِنْ شَجَرَةٍ مُبْرَكَةٍ زَيْتُونَةٍ لَا شَرْقِيَّةٍ وَلَا
غَرْبِيَّةٍ يَكَادُ زَيْتُهَا يُضِيءُ وَلَوْ لَمْ تَمْسَسْهُ نَارٌ ۖ نُورٌ عَلَى
نُورٍ ۖ يَهْدِي اللَّهُ لِنُورِهِ مَن يَشَاءُ ۖ وَيَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَلَ
لِلنَّاسِ ۗ وَاللَّهُ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ

Allah (Pemberi) cahaya (kepada) langit dan bumi. Perumpamaan cahaya-Nya adalah seperti sebuah lubang yang tak tembus, yang di dalamnya ada pelita besar. Pelita itu di dalam kaca (dan) kaca itu seakan-akan bintang (yang bercahaya) seperti mutiara, yang dinyalakan dengan minyak dari pohon yang banyak berkahnya, (yaitu) pohon zaitun yang tumbuh tidak di sebelah timur (sesuatu) dan tidak pula di sebelah barat(nya), yang minyaknya (saja) hampir-hampir menerangi, walaupun tidak disentuh api. Cahaya di atas cahaya (berlapis-lapis), Allah membimbing kepada cahaya-Nya siapa yang Dia kehendaki, dan Allah memperbuat perumpamaan-perumpamaan bagi manusia, dan Allah Mahamengetahui segala sesuatu. (QS. An-Nur 24:35)

Cahaya Allah diatas cahaya, itulah yang disampaikan ayat tersebut. Kaitannya dalam tugas akhir ini yaitu penglihatan manusia biasa yang memerlukan cahaya tidak mampu untuk langsung mendeteksi dengan tepat karakter objek pada suatu benda. Mungkin dalam hal ini cahaya itu bisa juga diartikan ilmu. Jika manusia mau menuntut ilmu pengetahuan maka manusia akan melampaui kemampuan standarnya.

Manusia melihat dunia dengan kedua bola matanya. Anugerah ini diberikan Allah s.w.t untuk manusia dalam melihat segala sesuatu. Namun penglihatan manusia ini masih lemah karena penglihatan manusia terbatas. Manusia tidak bisa melihat segala sesuatu yang bersifat mikroskopik. Dalam hal medis ini sangat penting karena manusia berurusan dengan hal mikroskopik dalam tubuh manusia sebagaimana unsur fitur retinopati yang dibahas dalam tugas akhir ini.

Untuk dapat mencapai tujuannya dalam melampaui kemampuan manusia, maka manusia harus menuntut ilmu sesuai tujuannya. Dalam hal ini manusia membuat alat-alat untuk membantu penglihatan manusia seperti mikroskop, oftalmoskop, *software* dan sebagainya untuk mencapai

tujuan itu. Khususnya untuk tugas akhir ini yaitu membuat aplikasi yang dapat mengidentifikasi suatu penyakit pada manusia. Jika manusia mau menuntut ilmu pengetahuan maka ilmu pengetahuan akan didapat sesuai bidang yang ditelitinya, dan manusia dapat melampaui keterbatasannya karena ilmu pengetahuan tersebut sehingga bisa digunakan untuk menolong sesama manusia.

Atas dasar kajian itulah, penulis mempertimbangkan judul **Implementasi Algoritma Morfologi Terhadap Fitur Diabetic Retinopathy Pada Citra Mata.**

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini yaitu:

1. Bagaimana peran algoritma morfologi dalam mendeteksi tiap fitur retinopati sesuai kriteria pengujian?
2. Apa manfaat penerapan algoritma morfologi ini, dalam kasus untuk objek fitur retinopati pada citra mata?

1.3. Batasan Masalah

Pembatasan masalah dimaksudkan untuk membatasi ruang lingkup permasalahan yang akan dibahas mengingat waktu yang tersedia terbatas, demikian pula biaya dan tenaga, bukan untuk mengurangi sifat ilmiah suatu pembahasan. Batasan masalah penelitian ini yaitu implementasi algoritma morfologi terhadap fitur retinopati citra dengan menggunakan bentuk sederhana yaitu elemen struktur dan mengambil kesimpulan pada bagaimana elemen struktur melewati atau menghasilkan bentuk-bentuk dalam citra biner *fundus* mata yang diuji. Kriteria deteksi yang digunakan adalah bentuk atau struktur, ukuran, dan wilayah dari fitur retinopati.

1.4. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk membangun sebuah aplikasi implementasi algoritma morfologi terhadap fitur retinopati pada mata. Tujuan khusus tugas akhir ini lengkapnya yaitu:

1. Membangun aplikasi implementasi algoritma morfologi terhadap fitur-fitur retinopati mata penderita *diabetes mellitus*.
2. Mengetahui fungsi dan manfaat dari algoritma morfologi setelah diterapkan pada fitur retinopati yaitu fungsi operator morfologi dan fungsi elemen-elemen struktur yang dibuat.
3. Mengetahui kriteria bentuk dan struktur fitur retinopati pada mata penderita *diabetes mellitus* berdasarkan operator algoritma morfologi dan elemen struktur yang ditentukan.

1.5. Manfaat

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini yaitu:

1. Menyediakan aplikasi implementasi algoritma morfologi terhadap fitur retinopati pada citra *fundus* mata khususnya bagi ahli oftalmologi.
2. Menolong ahli oftalmologi dengan menyediakan informasi pengetahuan tentang struktur fitur retinopati hasil implementasi algoritma morfologi.

1.6. Metodologi

Tahap-tahap yang dilaksanakan dalam tugas akhir ini yaitu:

1. Studi Pustaka

Melakukan studi pustaka untuk mempelajari dasar teori yang dibutuhkan lebih lanjut, baik teori terkait algoritma morfologi maupun teori-teori pendukung lainnya.

2. Analisis Masalah

Menerapkan hasil studi pustaka untuk menganalisis masalah implementasi algoritma morfologi terhadap fitur retinopati untuk selanjutnya dimodelkan ke dalam aplikasi.

3. Analisis dan Perancangan Perangkat Lunak

Menganalisis dan merancang perangkat lunak yang akan dibuat berdasarkan hasil analisis masalah.

4. Implementasi dan Pengujian Perangkat Lunak

Mengimplementasikan perangkat lunak, menguji *bug* dan *error* yang mungkin terjadi, mengevaluasi hasil uji untuk berbagai kasus uji, dan mengevaluasi hasil uji untuk berbagai parameter terkait algoritma morfologi.

5. Membuat Kesimpulan dan Saran

Menyimpulkan bagian-bagian sebelumnya dan memberikan saran untuk penelitian dengan topik sejenis di masa mendatang.

1.7. Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN TEORITIS

Bab ini berisi landasan teori yang digunakan untuk mengimplementasikan algoritma morfologi terhadap fitur retinopati.

BAB III ANALISIS MASALAH

Bab ini berisi analisis terhadap masalah yang dibahas di tugas akhir ini, yaitu menggunakan dan mempelajari algoritma morfologi yang diterapkan terhadap fitur retinopati pada citra *fundus* mata.

BAB IV ANALISIS DAN PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK

Bab ini berisi analisis dan perancangan perangkat lunak yang akan diimplementasikan, analisa sistem dan kebutuhan apa saja yang diperlukan dalam pembuatan sistem dan pemecahannya serta rancangan sistemnya.

BAB V IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

Bab ini berisi implementasi perancangan perangkat lunak dari hasil analisis dan perancangan yang sudah dibuat, serta hasil pengujian perangkat lunak, sarana pengolahan data yang berisi perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*) dan pelaksanaan pengolahan sistem aplikasi tersebut.

BAB VI PENUTUP

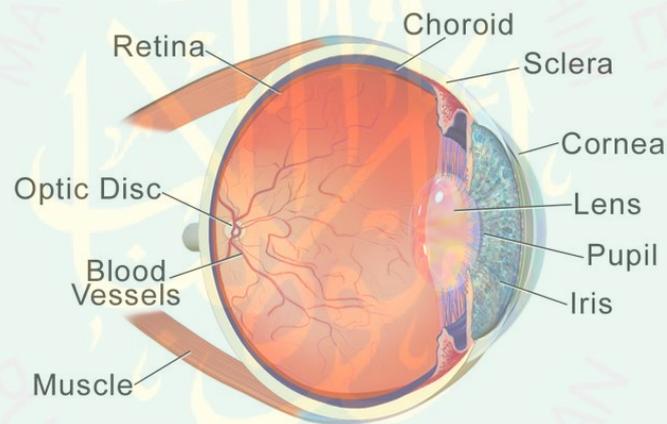
Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang didapat dari pengerjaan dan pengujian tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN TEORITIS

2.1. Struktur Mata

Mata adalah organ yang berhubungan dengan penglihatan. Mata terletak di soket tulang atau orbit dan dilindungi oleh kelopak mata dari udara luar. Berikut gambar struktur mata manusia.



Gambar 1. Struktur mata manusia (Blausen, 2013)

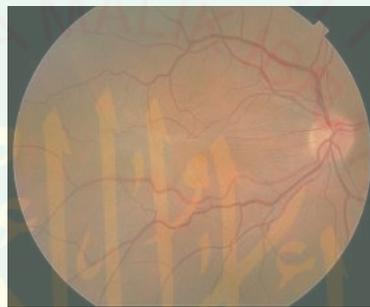
Keterangan:

- *Sclera*: lapisan berwarna putih, pelindung yang mempertahankan bentuk bulat
- *Iris*: bagian yang mengontrol tingkat cahaya
- Kornea: bagian transparan yang menutupi *iris* dan *pupil*, berfungsi untuk merefleksikan cahaya dan membantu mata untuk tetap fokus

- *Lensa*: bagian transparan yang berbentuk bikonveks, berfungsi untuk membantu memfokuskan mata
- *Pupil*: permukaan yang terletak di pusat iris, berfungsi mengontrol jumlah cahaya yang masuk ke mata
- *Choroid*: terletak antara *retina* dan *sclera*, terdiri dari lapisan pembuluh darah yang mensuplai makanan ke mata bagian dalam dan mensuplai pasokan darah ke *retina*
- Syaraf optik: syaraf yang mengirimkan informasi visual dari *retina* ke otak
- *Retina*: lapisan bagian belakang mata, bertindak seperti film kamera. Cahaya harus terfokus dengan tepat ke *retina*
- *Optic Disk*: lokasi dimana akson sel ganglion keluar dari mata untuk membentuk syaraf optik. Tidak ada *cones* yang peka cahaya untuk merespon stimulus cahaya pada titik ini. Karena itu, disk optik disebut juga *blind spot* (titik buta)
- *Blood Vessels*: pembuluh darah yang mengalirkan darah ke mata
- *Muscle*: otot mata, otot yang menggerakkan bola mata

Cahaya yang masuk ke mata melewati *pupil* akan difokuskan pada *retina*, jumlah cahaya yang masuk dikontrol oleh *iris* mata. Lensa berfungsi untuk memfokuskan gambar dari jarak yang berbeda. Bagian luar mata disebut konjungtiva, otot *ciliary* di *ciliary body* berfungsi untuk mengontrol fokus lensa secara otomatis. *Choroid* pada lapisan pembuluh darah berfungsi untuk mensuplai

nutrisi ke seluruh bagian mata. Gambar yang terbentuk pada *retina* ditransmisikan ke otak melalui saraf optik. *Optic disk* adalah bagian dari citra *retina* yang berbentuk lingkaran, bagian yang dekat dengan pusat *retina* dengan bentuk oval disebut *macula*. Didekat *macula* terdapat *fovea*, yang bertanggung jawab atas keakuratan penglihatan. *Retina* merupakan jaringan sensorik berlapis yang melapisi bagian belakang mata.



Gambar 2. Digital *fundus retina* normal

Gambar di atas merupakan citra digital *fundus retina* normal. *Fundus* adalah permukaan bagian belakang mata, yang terletak bertentangan dengan lensa dan bisa dilihat dengan menggunakan oftalmoskop.



Gambar 3. Oftalmoskop

Oftalmoskop adalah alat untuk memeriksa bagian dalam mata. Oftalmoskop sangat berguna untuk menilai keadaan retina, yaitu lapisan mata bagian dalam yang mengandung sel-sel penerima rangsang cahaya. Pengujian *fundus* disebut

oftalmoskopi atau *funduskopi*. Terdiri dari *retina*, *makula*, *fovea*, *optic disk* dan *posterior pole* atau *retina* yang terletak antara *macula* dan *optic disk*.

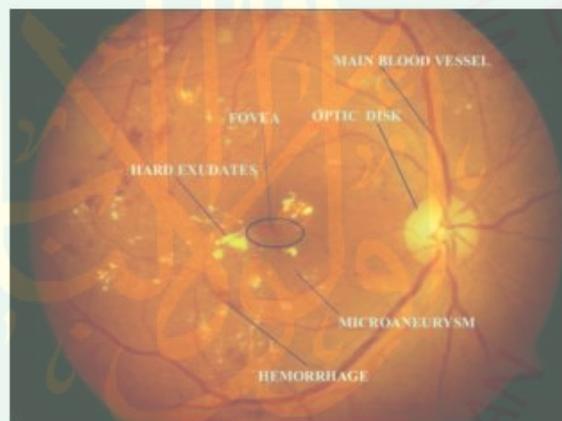
2.2. *Diabetic Retinopathy*

Diabetic retinopathy merupakan komplikasi mikrovaskuler yang terjadi pada penderita diabetes yang menyebabkan terjadinya retinopati pada retina mata. *Diabetic retinopathy* biasanya ditandai dengan perubahan kecil dalam kapiler retina, kemudian muncul *microaneurysm* sebagai titik-titik merah kecil di retina. Contoh satu kasus yaitu lemahnya dinding kapiler menyebabkan terjadinya *hemorrhages* pada retina (Kauppi, 2010).

Diabetic retinopathy memiliki empat tahap:

- *Mild Non-proliferative Retinopathy*: Pada tahapan awal ini, mikroaneurism mungkin terjadi. Bentuk penyakit ini merupakan area-area kecil berbentuk mirip balon yang membengkak dalam pembuluh darah kecil *retina*.
- *Moderate Non-proliferative Retinopathy*: Sebagaimana penyakit berlangsung, beberapa pembuluh darah yang memberi nutrisi *retina* pada tingkatan ini diblok.
- *Severe Non-proliferative Retinopathy*: Lebih banyak lagi pembuluh darah yang ditutup sehingga menghilangkan suplai darah pada beberapa area *retina*. Area-area di *retina* ini kemudian mengirim sinyal ke tubuh untuk menumbuhkan pembuluh darah baru untuk pemberian nutrisi.

- *Proliferative Retinopathy*: Pada tahap paling kritis ini, sinyal yang dikirim oleh *retina* untuk pemberian nutrisi memicu pertumbuhan pembuluh-pembuluh darah baru. Pembuluh darah baru ini abnormal dan mudah rusak yang tumbuh di sepanjang *retina* dan permukaan gel *vitreous* yang jernih yang mengisi bagian dalam mata. Pembuluh-pembuluh darah ini tidak menyebabkan simtom atau hilangnya pandangan. Namun memiliki dinding tipis yang mudah pecah. Jika itu membocorkan darah, maka dapat terjadi hilang pandangan yang parah bahkan kebutaan.

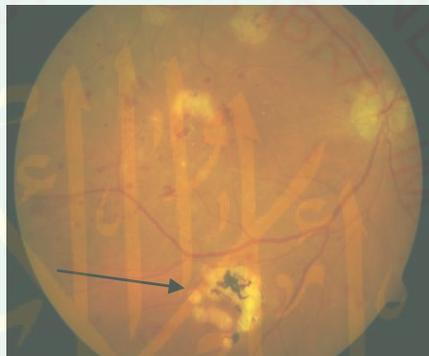


Gambar 4. Variasi fitur retinopati (Ravishankar, 2009)

Retinopati merupakan variasi gangguan pada mata akibat komplikasi *mikrovaskuler* pada penderita *diabetes* seperti yang dijelaskan sebelumnya. Seiring dengan kebocoran pembuluh darah, *lipid* dan protein juga keluar dari pembuluh darah dan membentuk titik-titik terang kecil yang di sebut dengan *exudates*. *Exudates* yang semakin parah dapat memicu terjadinya *hemorrhage*. Selanjutnya beberapa bagian dari *retina* menjadi isemik atau kekurangan darah. Area isemik ini tampak pada *retina* sebagai gumpalan bulu halus berwarna putih yang dinamakan

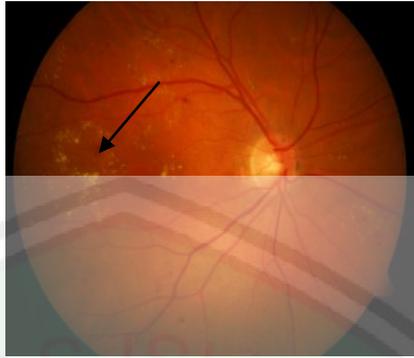
noda *cotton wool*. Sebagai tanggapan atas daerah isemik ini, munculah pembuluh darah baru untuk menyuplai lebih banyak oksigen ke *retina*. Pembuluh darah baru ini dinamakan *neovascularization*, yang beresiko lebih besar untuk pecah dan menyebabkan *hemorrhage* yang lebih luas.

Berikut merupakan fitur-fitur retinopati pada mata yang menjadi bahasan objek penelitian ini:



Gambar 5. *Hard Exudates* (Tomi Kauppi, 2006)

Exudates merupakan titik-titik kecil yang terbentuk dari lipid dan protein yang keluar dari pembuluh darah akibat kebocoran pembuluh darah. Ada dua karakteristik *exudates*, yaitu *hard exudates* dan *soft exudates*. *Hard exudates* dapat melebar dan membesar yang bila tidak segera ditangani dengan baik dapat mengakibatkan kondisi mata semakin parah dan bisa mengakibatkan muncul bercak-bercak putih seperti kapas yang disebut sebagai *cotton wool*.



Gambar 6. *Soft Exudates* (Tomi Kauppi, 2006)

Soft exudates tampak seperti bercak-bercak putih kecil kekuning-kuningan, bila tidak segera ditangani lebih lanjut dapat mengakibatkan *hard exudates*.



Gambar 7. *Cotton wool* (Tomi Kauppi, 2006)

Cotton wool tampak seperti bercak-bercak putih seperti kapas, bila tidak segera ditangani secara baik bisa mengakibatkan kondisi mata semakin parah dan bisa mengakibatkan kebutaan.



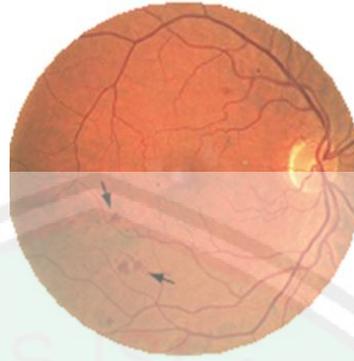
Gambar 8. *Neovascularisation* (Tomi Kauppi, 2006)

Neovascularisation merupakan pembuluh darah baru yang menyuplai oksigen ke *retina*. *Neovascularization* terbentuk akibat *ischemic*, yaitu kekurangan darah. Pembuluh darah baru ini memiliki dinding yang lemah, sehingga mudah pecah dan berdarah, atau menyebabkan jaringan parut tumbuh yang dapat menarik *retina* dari bagian belakang mata atau ablasi, yang jika tidak segera diobati akan berakibat kehilangan penglihatan atau terjadi kebutaan (Iqbal dkk, 2006).



Gambar 9. *Microaneurysm* (Tomi Kauppi, 2006)

Microaneurysm merupakan bintik-bintik merah gelap atau biasanya tampak seperti pendarahan kecil dalam *retina*. Ukuran mikroaneurisme berkisar 10-100 mikron atau kurang dari $\frac{1}{2}$ th diameter *optic disk*, dan rata-rata berbentuk lingkaran. *Microaneurysm* ini nantinya merupakan bakal *hemorrhage*.



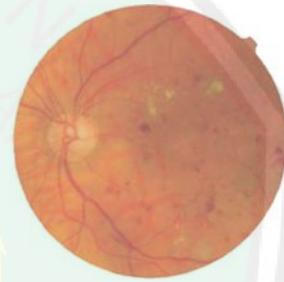
Gambar 10. *Hemorrhage* (Tomi Kauppi, 2006)

Hemorrhage merupakan kerusakan akibat *diabetic retinopathy* berupa bercak-bercak merah darah akibat pecahnya *microaneurysm*, kerusakan ini terus berlanjut dan semakin meluas bila tidak segera ditangani dengan baik bisa mengakibatkan *exudates*. *Hemorrhage* muncul dalam bentuk berupa struktur merah atau bercak-bercak merah darah pada *fundus* karena pecahnya *microneurysm*. Bentuknya dapat dikorelasikan dengan kedalaman di *retina*. *Hemorrhage* cenderung menghilang dalam waktu singkat. Titik atau bintik *hemorrhage* ini memiliki bentuk putaran yang terletak di *nuclea* dalam *retina* dan luar lapisan *plexiform*. Konfigurasi *hemorrhage* yang disebabkan kompresi *intraretinal* membatasi pendarahan dalam lokasi tertentu. Ini merupakan gejala yang lebih serius dikarenakan terhubung dengan *diabetic retinopathy*. Ketika *hemorrhage* terjadi pada *vitreous humor* maka disebut *hemorrhage vitreous* (VHS) atau pendarahan *preretinal* (PRHs) jika terjadi tepat di antara *vitreous humor* dan *retina*. VHS dan PRHs sering terjadi karena neovaskularisasi. *Hemorrhage* juga ditandai dengan adanya darah di rongga *vitreous* akibat trauma, penyakit *retina* maupun penyakit sistemik yang mempunyai gejala klinik visus mendadak menurun dan atau *vitreous* keruh dengan atau tanpa sel-sel darah merah. Jika sebelah mata

secara tiba-tiba menjadi merah tanpa ada gangguan apapun, maka kemungkinan itu adalah *hemorrhage* di mana darah merembes pada lapisan kulit yang tipis pada bagian depan bola mata. Hal ini sangat umum terjadi, khususnya pada orang tua. Hal ini bisa disebabkan oleh cegukan yang keras, muntah-muntah, atau jika mudah kena mimisan atau memar. Keadaan seperti ini akan hilang dengan sendirinya dalam beberapa minggu.



Gambar 11. *Fundus* digital mata normal



Gambar 12. *Fundus* digital mata dengan retinopati

Berdasarkan gambar *fundus* digital di atas, dapat dibedakan antara mata normal dan mata yang terdapat retinopati berdasarkan titik atau bintik darah akibat pecahnya *microaneurysm* (Li Tang, 2013).

2.3. Pengolahan Citra

Pengolahan citra adalah salah satu cabang dari ilmu informatika. Pengolahan citra berkuat pada usaha untuk melakukan transformasi suatu citra atau gambar menjadi citra lain dengan menggunakan teknik tertentu.

Citra adalah gambar dua dimensi yang dihasilkan dari gambar analog dua dimensi yang kontinu menjadi gambar diskrit melalui proses *sampling*. Gambar analog dibagi menjadi N baris dan M kolom sehingga menjadi gambar diskrit. Persilangan antara baris dan kolom tertentu disebut dengan piksel. Contohnya

adalah gambar atau titik diskrit pada baris n dan kolom m disebut dengan piksel $[n, m]$.

Sampling adalah proses untuk menentukan warna pada piksel tertentu pada citra dari sebuah gambar yang kontinu. Pada proses *sampling* biasanya dicari warna rata-rata dari gambar analog yang kemudian dibulatkan. Proses *sampling* sering juga disebut proses digitisasi.

Ada kalanya, dalam proses *sampling*, warna rata-rata yang didapat di relasikan ke level warna tertentu. Contohnya apabila dalam citra hanya terdapat 16 tingkatan warna abu-abu, maka nilai rata-rata yang didapat dari proses *sampling* harus diasosiasikan ke 16 tingkatan tersebut. Proses mengasosiasikan warna rata-rata dengan tingkatan warna tertentu disebut dengan kuantisasi.

Derau adalah gambar atau piksel yang mengganggu kualitas citra. Derau dapat disebabkan oleh gangguan optik pada alat akuisisi maupun secara disengaja akibat proses pengolahan yang tidak sesuai. Contohnya adalah bintik hitam atau putih yang muncul secara acak yang tidak diinginkan di dalam citra. Bintik acak ini disebut dengan derau *salt & pepper*. Banyak metode dalam pengolahan citra yang bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan derau.

2.4. Preprocessing Citra

Operasi yang dilakukan untuk mentransformasikan suatu citra menjadi citra lain dapat dikategorikan berdasarkan tujuan transformasi maupun cakupan operasi yang dilakukan terhadap citra. Berdasarkan tujuan transformasi operasi pengolahan citra dikategorikan sebagai berikut:

- Peningkatan Kualitas Citra / *Image Enhancement*: Operasi peningkatan kualitas citra bertujuan untuk meningkatkan fitur tertentu pada citra.
- Pemulihan Citra / *Image Restoration*: Operasi pemulihan citra bertujuan untuk mengembalikan kondisi citra pada kondisi yang diketahui sebelumnya akibat adanya pengganggu yang menyebabkan penurunan kualitas citra.

Sedangkan berdasarkan cakupan operasi yang dilakukan terhadap citra, Operasi pengolahan citra dikategorikan sebagai berikut:

- Operasi titik, yaitu operasi yang dilakukan terhadap setiap piksel pada citra yang keluarannya hanya ditentukan oleh nilai piksel itu sendiri.
- Operasi area, yaitu operasi yang dilakukan terhadap setiap piksel pada citra yang keluarannya dipengaruhi oleh piksel tersebut dan piksel lainnya dalam suatu daerah tertentu. Salah satu contoh dari operasi berbasis area adalah operasi ketetanggaan yang nilai keluaran dari operasi tersebut ditentukan oleh nilai piksel-piksel yang memiliki hubungan ketetanggaan dengan piksel yang sedang diolah.
- Operasi global, yaitu operasi yang dilakukan terhadap setiap piksel pada citra yang keluarannya ditentukan oleh keseluruhan piksel yang membentuk citra.

Warna dari *fundus* citra sering kali menunjukkan variasi pencahayaan, kurangnya nilai kontras, dan adanya *noise*. *Preprocessing* dilakukan untuk

mengurangi ketidaksempurnaan atau untuk menonjolkan unsur citra tertentu sehingga menghasilkan gambar yang lebih cocok untuk mengekstraksi fitur piksel pada langkah klasifikasi citra. Tahapan *preprocessing* dalam tugas akhir ini yaitu mengkonversi format citra RGB menjadi format citra *grayscale* atau abu-abu.

Hal-hal penting yang akan dilakukan pada *preprocessing* di antaranya adalah (T. Sutoyo dkk, 2009):

- Peningkatan kualitas citra (kontras, *brightness*, dan lain-lain)
- Menghilangkan derau
- Perbaikan citra (*image restoration*)
- Transformasi (*image transformation*)
- Menentukan bagian citra yang akan diobservasi

Preprocessing pada tugas akhir ini tergolong dalam peningkatan kualitas citra yaitu untuk mendapatkan format grayscale dari citra untuk kelancaran proses algoritma morfologi. Proses ini bertujuan menampilkan ulang citra dan juga memudahkan proses analisis citra selanjutnya.

Ada dua kategori metode yang digunakan sebagai dasar peningkatan kualitas citra, yaitu metode yang bekerja pada domain spasial ruang atau waktu, dan metode yang bekerja pada domain frekuensi. Metode yang bekerja pada domain spasial yaitu *point processing* dan *mask processing*.

Point processing merupakan metode termudah, prosesnya hanya melibatkan satu piksel saja, tidak melibatkan jendela ketetanggaan. Contoh metode *point*

processing yaitu penggunaan histogram yang digunakan untuk menunjukkan penyebaran kemunculan *gray-level* suatu citra.

Mask processing adalah metode yang melibatkan piksel-piksel tetangga dengan menggunakan jendela ketetanggaan. Operasi yang dilakukan adalah dengan mengoperasikan sebuah *mask* terhadap jendela tersebut. Operasi ini disebut juga konvolusi atau *filtering*, sedangkan mask disebut *filter*. Jadi, konvolusi adalah *masking*. Metode *mask processing* inilah yang akan digunakan dalam penelitian ini.

1	2	3
8	x	4
7	6	5

Gambar 13. Contoh jendela ketetanggaan piksel 3x3

Nilai piksel pada posisi x berwarna merah dipengaruhi oleh 8 nilai piksel tetangganya, berbeda pada metode *point processing* yang tidak dipengaruhi oleh nilai piksel tetangga-tetangganya. Contoh sebuah *mask* atau *filter* diatas akan dikonvolusikan pada setiap jendela ketetanggaan 3x3 citra. *Filter* yang diimplementasikan dianggap sudah dalam bentuk terbalik. Adapun tahap *preprocessing* pada penelitian ini yaitu konversi citra ke format warna *grayscale* yang dilakukan secara manual untuk mendapatkan citra biner.

2.5. Pengolahan Citra Morfologik

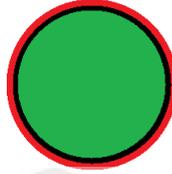
Morfologik berawal dari kata morfologi yang merujuk pada identifikasi, analisa, dan deskripsi struktur dari unit terkecil objek. Dalam dunia pengolahan citra, pengolahan citra morfologik merupakan teori dan teknik analisa dan

pemrosesan struktur geometrik yang berdasarkan pada teori kumpulan, teori kisi (kb. pola geometris molekul atau atom), topologi, dan fungsi acak. Morfologi citra adalah proses mengidentifikasi bentuk dengan basis wilayah pada citra bertipe biner atau *grayscale*. Perannya seperti mengekstrak komponen citra yang berguna dalam representasi dan deskripsi bentuk area seperti batas-batas, kerangka, bentuk cembung, dan sebagainya. Keluarannya berupa bentuk atribut yang terekstrak dari citra masukan. Pengolahan citra morfologik berupaya untuk mengekstrak “intisari” dari citra.

Pengolahan citra morfologi berawal dari teori morfologi matematika. Morfologi matematika paling umum diterapkan pada citra digital, tapi dapat digunakan dengan baik pada graf, *surface* atau *polygon mesh*, geometri padat, dan banyak struktur spasial lainnya.

Matematika morfologi memperkenalkan konsep ruang-kontinum geometrik dan topologik seperti ukuran, bentuk, kecembungan, konektivitas, dan jarak geodesik pada ruang-ruang kontinyu dan diskrit. Morfologi matematika merupakan fondasi pengolahan citra morfologik, yang terdiri dari kumpulan operator yang mengubah citra sesuai dengan karakterisasi diatas. Operator morfologik dasar yaitu erosi, dilasi, *opening*, dan *closing*.

Morfologi matematika aslinya dikembangkan untuk citra biner, dan kemudian dikembangkan untuk citra dan fungsi *grayscale*. Penyamarataan berikutnya ke kisi-kisi komplit dengan luas diterima hari ini sebagai fondasi teoritis morfologi matematika.



Gambar 14. Contoh proses morfologik; lingkaran hitam beserta dilasinya (merah) dan erosinya (hijau)

Morfologi matematika dicetuskan pada tahun 1964 oleh George Matheron dan Jean Serra, di Perancis. Matheron mengawasi tesis PhD Serra yang mengerjakan hitungan karakteristik mineral dari geometri bagian silang tipis, dan kerja ini menghasilkan kemajuan teoritis dalam pendekatan praktis ide geometri integral dan topologi.

Tahun 1968, Centre de Morphologie Mathematique didirikan oleh Ecole des Mines de Paris di Fontainebleau, Perancis, dipimpin oleh Matheron dan Serra. Antara 1960-an dan 1970-an, morfologi matematika berurusan utamanya dengan citra biner, memperlakukan citra biner sebagai kumpulan-kumpulan, dan menghasilkan jumlah besar operator dan teknik biner yaitu transformasi *hit-or-miss*, dilasi, erosi, *opening*, *closing*, granulometri, penipisan, skeletonisasi, erosi penghabisan, bisektor kondisional, dan lainnya. Pendekatan acak juga dikembangkan, berdasar model citra ide. Banyak dari kerja dalam periode itu dikembangkan di Fontainebleau.

Dari 1980-an dan 1990-an, morfologi matematika memperoleh pengakuan lebih luas, sebagai pusat riset dalam beberapa negara mulai mengadopsi dan menginvestigasi metode tersebut. Morfologi matematika mulai diterapkan ke sejumlah besar masalah dan aplikasi citra.

Tahun 1986, Serra menyamaratakan morfologi matematika lebih jauh dengan *framework* teoritis berdasar pada kisi-kisi komplit. Generalisasi ini menjadikan teori tersebut fleksibilitas dan aplikasinya menjadi lebih luas, termasuk ke citra warna, video, graf, *mesh* (mata jala / mata di layar), dan sebagainya. Di waktu yang sama, Matheron dan Serra juga memformulasikan teori untuk pemfilteran morfologis, berdasar pada *framework* geometri baru. Matematika morfologi mengalami kemajuan teoritis pada tahun 1990-an dan 2000-an dalam konsep koneksi dan pelevelan.

2.6. Morfologi Biner

Dalam morfologi biner, citra dipandang sebagai *subset* ruang Euclidean \mathbb{R}^d dari jaringan bilangan bulat, untuk beberapa dimensi d .

2.6.1. Elemen Struktur

Ide dasar morfologi biner yaitu untuk menyelidiki citra dengan dasar bentuk sederhana yang telah ditentukan sebelumnya, dan membuat kesimpulan pada bagaimana bentuk yang ditentukan tersebut cocok atau melewati hasil berupa bentuk-bentuk dalam citra. Penyelidikan sederhana berdasarkan bentuk ini disebut elemen struktur yang juga merupakan citra biner, misal, *subset* ruang atau *grid*.

Ini adalah beberapa contoh elemen struktur yang digunakan secara luas yang ditunjukkan dengan B :

- Asumsikan $E = \mathbb{R}^2$. B adalah piringan terbuka radius r , berpusat di asal
- Asumsikan $E = \mathbb{Z}^2$. B adalah wajik 3×3 , yang adalah $B = \{ (-1,-1), (-1, 0), (-1, 1), (0,-1), (0, 0), (0, 1), (1,-1), (1, 0), (1, 1) \}$

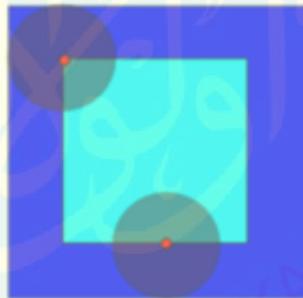
- Asumsikan $E = Z^2$. B adalah palang yang diberikan oleh $B = \{ (-1, 0), (0, -1), (0, 0), (0, 1), (1, 0) \}$

2.6.2. Operator Dasar

Operasi dasar adalah operator invarian-geser atau invarian translasi dengan kuat berhubungan dengan tambahan Minkowski. Asumsikan E merupakan ruang Euclidean atau *grid* bilangan bulat, dan A adalah citra biner dalam E .

1) Erosi

Erosi merupakan proses penggabungan titik objek yang bernilai 1 menjadi bagian titik *background* bernilai 0, berdasarkan elemen struktur yang ditentukan.



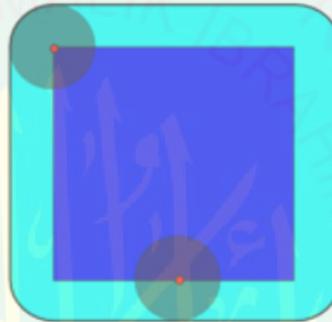
Gambar 15. Erosi persegi biru gelap oleh cakram, menghasilkan persegi biru muda.

Erosi citra biner A oleh elemen susun B didefinisikan oleh: $A \ominus B = \{z \in E \mid B_z \subseteq A\}$, dimana B_z adalah translasi B oleh vektor z , misal $B_z = \{b + z \mid b \in B\}$. Ketika elemen susun B punya pusat (misal, B adalah piringan atau wajik), dan pusat ini lokasinya di awal mula E , maka erosi A oleh B dapat dipahami sebagai tempat titik-titik yang dijangkau oleh pusat dari B ketika B bergerak di dalam A . Sebagai contoh, erosi wajik sisi 10, berpusat di asal mula, oleh piringan radius 2, juga berpusat di asal mula,

adalah wajik sisi 6 berpusat di asal mula. Erosi A oleh B juga diberikan oleh ekspresi $A \ominus B = \bigcap_{b \in B} A - b$.

2) Dilasi

Dilasi merupakan proses penggabungan titik background yang bernilai 0 menjadi bagian titik objek yang bernilai 1, berdasarkan elemen struktur yang digunakan. Dilasi merupakan kebalikan dari erosi.

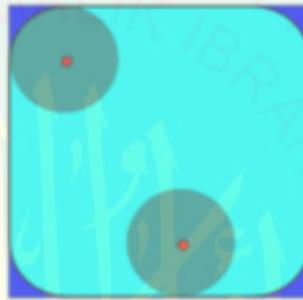


Gambar 16. Dilasi persegi biru tua oleh piringan, menghasilkan persegi biru muda dengan ujung bulat

Dilasi A oleh elemen susun B didefinisikan oleh $A \oplus B = \bigcup_{b \in B} Ab$. Dilasi bersifat komutatif, juga didefinisikan oleh $A \oplus B = B \oplus A = \bigcup_{a \in A} Ba$. Jika B punya pusat pada asal mula, sebagaimana sebelumnya, maka dilasi dari A oleh B dapat dipahami sebagaimana tempat titik-titik yang diliputi oleh B ketika pusat B bergerak di dalam A . Dalam contoh diatas, dilasi wajik sisi 10 oleh piringan radius 2 adalah wajik sisi 14, dengan wajik sudut tumpul, berpusat di asal mula. Radius pojok rounded adalah 2. Dilasi bisa juga diperoleh oleh $A \oplus B = \{z \in E \mid (B^s z \cap A \neq \emptyset)\}$ dimana B^s menunjukkan simetrik B , yang adalah $B^s = \{x \in E \mid -x \in B\}$.

3) *Opening*

Opening merupakan proses erosi yang diikuti dengan dilasi. Efek yang dihasilkan yaitu menghilangnya objek kecil dan kurus, pemecahan objek pada titik-titik kurus, dan secara umum men-*smooth*-kan batas dari objek besar tanpa mengubah area objek secara signifikan. *Opening* berguna untuk menghaluskan citra dan menghilangkan tonjolan tipis.



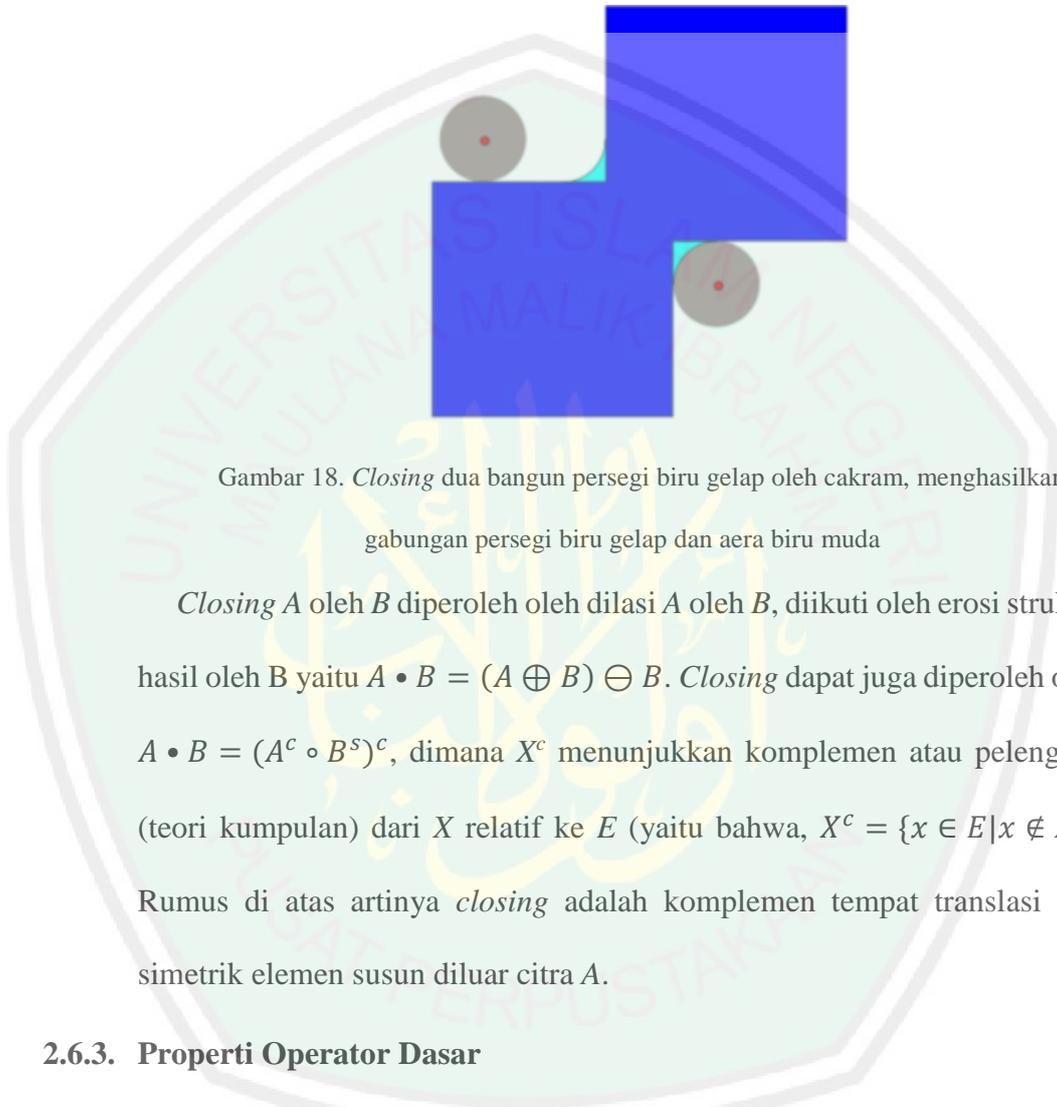
Gambar 17. *Opening* persegi biru gelap oleh cakram, menghasilkan *rounded square* biru muda

Opening A oleh B diperoleh erosi A oleh B , diikuti oleh dilasi citra hasil oleh B , yaitu $A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$. *Opening* juga diberikan oleh $A \circ B = \bigcup_{Bx \subseteq A} Bx$, yang berarti bahwa itu adalah tempat translasi elemen susun B di dalam citra A . Dalam kasus wajik sisi 10, dan piringan radius 2 sebagai elemen susun, pembukannya adalah wajik sisi 10 dengan ujung *rounded*, dimana radius ujung adalah 2.

4) *Closing*

Closing merupakan proses dilasi yang diikuti dengan erosi, efek yang dihasilkan yaitu pengisian lubang kecil pada objek, menggabungkan objek-objek berdekatan, dan secara umum men-*smooth*-kan batas dari objek besar

tanpa mengubah area objek secara signifikan. *Closing* berguna untuk menghaluskan citra dan menghilangkan lubang kecil.



Gambar 18. *Closing* dua bangun persegi biru gelap oleh cakram, menghasilkan gabungan persegi biru gelap dan aera biru muda

Closing A oleh B diperoleh oleh dilasi A oleh B , diikuti oleh erosi struktur hasil oleh B yaitu $A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$. *Closing* dapat juga diperoleh oleh $A \bullet B = (A^c \circ B^s)^c$, dimana X^c menunjukkan komplemen atau pelengkap (teori kumpulan) dari X relatif ke E (yaitu bahwa, $X^c = \{x \in E | x \notin X\}$). Rumus di atas artinya *closing* adalah komplemen tempat translasi dari simetrik elemen susun diluar citra A .

2.6.3. Properti Operator Dasar

Berikut beberapa properti operator morfologik biner dasar, yaitu properti dilasi, erosi, *opening*, dan *closing*:

- Merupakan invarian translasi
- Meningkatkan atau bertambah, yaitu, jika $A \subseteq C$, maka $A \oplus B \subseteq C \oplus B$, dan $A \ominus B \subseteq C \ominus B$, dan sebagainya
- Dilasi bersifat komutatif

- Jika asal-usul E dimiliki elemen susun B , maka $A \ominus B \subseteq A \circ B \subseteq A \subseteq A \bullet B \subseteq A \oplus B$
- Dilasi bersifat asosiatif, misal $(A \oplus B) \oplus C = A \oplus (B \oplus C)$ selain itu, erosi menjawab $(A \ominus B) \ominus C = A \ominus (B \oplus C)$
- Erosi dan dilasi menjawab dualitas $A \oplus B = (A^c \ominus B^s)^c$
- Opening dan closing menjawab dualitas $A \bullet B = (A^c \circ B^s)^c$
- Dilasi bersifat distributif pada *set union*
- Erosi bersifat distributif pada *set intersection*
- Dilasi bersifat *pseudo-inverse* dari erosi, dan *vice-versa*, dalam pengertian berikut $A \subseteq (C \ominus B)$ jika dan hanya jika $(A \oplus B) \subseteq C$
- *Opening* dan *closing* bersifat *idempotent*
- *Opening* bersifat *anti-extensive* atau tidak meluas, misal $A \circ B \subseteq A$, sedangkan *closing* bersifat ekstensif, misal $A \subseteq A \bullet B$

2.6.4. Morfologi *Grayscale*

Dalam morfologi *grayscale*, citra adalah fungsi-fungsi yang memetakan ruang Euclidean atau jaringan (*grid*) E ke dalam $R \cup \{\infty, -\infty\}$, dimana R merupakan kumpulan bilangan riil, ∞ merupakan elemen yang lebih besar daripada bilangan riil apapun, dan $-\infty$ merupakan elemen yang lebih kecil daripada bilangan riil apapun.

Elemen penstruktur *grayscale* juga merupakan fungsi format yang sama, disebut “fungsi penstruktur”. Menunjukkan citra oleh $f(x)$ dan fungsi penstruktur oleh $b(x)$, dilasi *grayscale* f oleh b diberikan oleh $(f \oplus b)(x) = \sup_{y \in E} [f(y) +$

$b(x - y)]$ dimana “sup” menunjukkan supremum. Serupa, erosi f oleh b diberikan oleh $(f \ominus b)(x) = \inf_{y \in E} [f(y) - b(y - x)]$ dimana “inf” menunjukkan infimum. Seperti halnya dalam morfologi biner, *opening* dan *closing* masing-masing diberikan oleh $f \circ b = (f \ominus b) \oplus b$ dan $f \bullet b = (f \oplus b) \ominus b$.

2.6.5. Fungsi Struktur Datar

Elemen penstruktur datar biasa digunakan dalam aplikasi morfologik. Fungsi penstruktur datar yaitu fungsi $b(x)$ dalam bentuk
$$b(x) = \begin{cases} 0, & x \in B, \\ -\infty, & \text{otherwise} \end{cases}$$
 dimana $B \subseteq E$. Dalam kasus ini, dilasi dan erosi disederhanakan, dan masing-masing diberikan oleh $(f \oplus b)(x) = \sup_{z \in B} f(x + z)$ dan $(f \ominus b)(x) = \inf_{z \in B} f(x + z)$.

Dalam kasus diskrit terhingga yaitu dimana E merupakan *grid* dan B bernilai terhingga, operator supremum dan infimum dapat digantikan oleh maksimum dan minimum. Maka dari itu, dilasi dan erosi merupakan kasus khusus filter statistik urutan, dengan dilasi yang mengembalikan nilai maksimum dalam jendela yang bergerak yaitu simetrik atau setangkup sokongan fungsi penstruktur B , dan erosi yang menghasilkan nilai minimum dalam jendela bergerak B .

Dalam kasus elemen penstruktur datar, operator morfologik bergantung hanya pada pengurutan relatif nilai-nilai piksel, berapapun nilai numeriknya, dan maka dari itu secara spesial dicocokkan ke pengolahan citra biner dan citra *grayscale* yang fungsi transfer cahayanya tidak diketahui. Operator dan alat lain seperti *morphological gradients*, transformasi *top-hat*, algoritma *watershed* dapat dikombinasikan. Dengan mengkombinasikan operator tersebut kita dapat

memperoleh algoritma untuk banyak tugas pengolahan citra, seperti deteksi fitur, segmentasi citra, penajaman citra, filtering citra, dan klasifikasi.

2.6.6. Morfologi Matematika pada Pola Geometris

Pola geometrik komplit merupakan kumpulan terurut parsial, dimana tiap *subset* punya supremum dan infimum. Secara khusus, itu terdiri dari elemen yang paling sedikit dan elemen yang paling besar yaitu elemen yang menunjukkan keseluruhan bidang.

2.6.7. Ajungsi (Dilasi dan Erosi)

Diasumsikan (L, \leq) adalah kisi komplit, dengan infimum dan supremum disimbolkan oleh \wedge dan \vee . Bidang dan elemen terkecilnya disimbolkan oleh U dan \emptyset . Selain itu, diasumsikan $\{X_i\}$ adalah koleksi elemen dari L . Dilasi adalah operator $\delta: L \rightarrow L$ yang mendistribusikan atas supremum, dan mempertahankan elemen terkecilnya, yaitu $\vee \delta(X_i) = \delta(\vee X_i)$ dan $\delta(\emptyset) = \emptyset$.

Erosi adalah operator $\varepsilon: L \rightarrow L$ yang mendistribusikan atas infimum, dan mempertahankan seluruh bidang, yaitu $\wedge_i \varepsilon(X_i) = \varepsilon(\wedge_i X_i)$ dan $\varepsilon(U) = U$.

Dilasi dan erosi membentuk koneksi Galois. Yaitu, untuk tiap dilasi δ ada 1 dan hanya 1 erosi ε yang memenuhi $X \leq \varepsilon(Y) \rightarrow \delta(X) \leq Y$ untuk semua $X, Y \in L$.

Serupa, untuk tiap erosi ada satu dan hanya satu dilasi yang memenuhi koneksi diatas. Lebih jauh, jika 2 operator memenuhi koneksi, maka δ pastilah sebuah dilasi, dan ε sebuah erosi. Pasangan erosi dan dilasi yang memenuhi koneksi diatas disebut *adjunction*, dan erosinya dikatakan erosi *adjoint* dari dilasi, begitu pula sebaliknya dengan dilasi *adjoint* dari erosi.

2.6.8. Opening dan Closing

Untuk tiap *adjunction* (ε, δ) , *opening* morfologik $\gamma: L \rightarrow L$ dan *closing* morfologik $\phi: L \rightarrow L$ didefinisikan sebagaimana berikut $\gamma = \delta\varepsilon$, dan $\phi = \varepsilon\delta$. *Opening* dan *closing* morfologik merupakan kasus khusus *opening* aljabarik atau cukup *opening* saja dan *closing* aljabarik atau cukup *closing* saja. *Opening* aljabarik merupakan operator dalam L yang idempoten, bertambah, dan anti-meluas atau ekstensif. *Closing* aljabarik merupakan operator dalam L yang idempoten, bertambah, dan meluas atau ekstensif.

2.6.9. Kasus Khusus

Morfologi biner merupakan kasus partikular morfologi kisi, dimana L merupakan kumpulan tenaga E yaitu ruang atau *grid* Euclidean, yaitu bahwa, L merupakan kumpulan semua *subset* E , dan \leq merupakan inklusi kumpulan. Dalam kasus ini, infimum merupakan interseksi kumpulan, dan supremum merupakan union kumpulan.

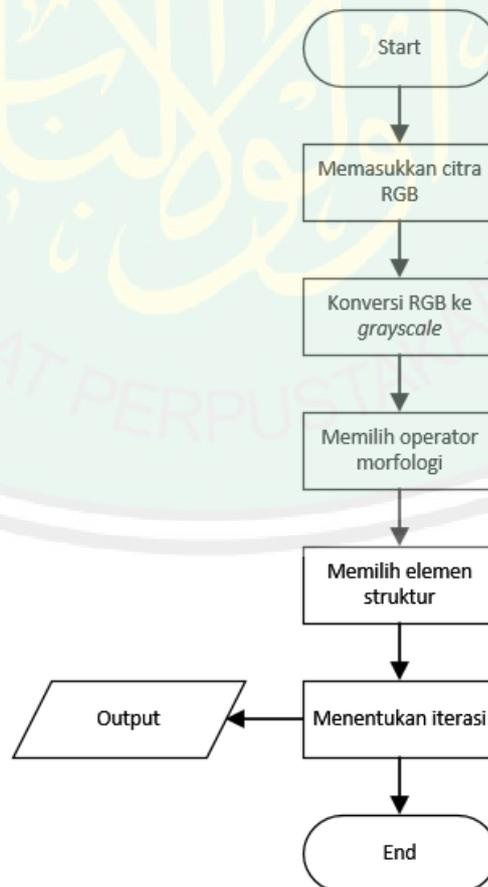
Serupa, morfologi *grayscale* merupakan kasus khusus lain, dimana L merupakan kumpulan fungsi yang memetakan E ke dalam $\mathbb{R} \cup \{\infty, -\infty\}$, dan \leq , \vee , dan \wedge , berturut-turut merupakan urutan, supremum, dan infimum *point-wise*. Yaitu bahwa, f dan g merupakan fungsi dalam L , maka $f \leq g$ jika dan hanya jika $f(x) \leq g(x), \forall x \in E$. Infimum $f \wedge g$ diberikan oleh $(f \wedge g)(x) = f(x) \wedge g(x)$, dan supremumnya diberikan oleh $(f \vee g)(x) = f(x) \vee g(x)$.

BAB III

DESAIN DAN IMPLEMENTASI

3.1.Deskripsi Sistem

Subbab ini membahas deskripsi sistem yang dikerjakan pada skripsi ini. Langkah awal yaitu memasukkan *input* data citra *fundus* mata yang otomatis diubah ke format *grayscale*. Kemudian memasukkan *input* pilihan operator morfologi. Setelah itu melakukan pengolahan pendeteksian fitur retinopati pada citra *input*. Diagram alir berikut merupakan implementasi metode algoritma morfologi.



Gambar 19. *Flowchart* sistem secara keseluruhan

Sebagaimana *flowchart* diatas, langkah awal yaitu memasukkan citra *fundus* mata, kemudian memilih operator morfologi yang akan digunakan untuk menguji coba citra, kemudian memilih elemen struktur dan mengisi jumlah iterasi. Jika hasil yang ditampilkan belum sesuai dengan yang diharapkan maka langkah-langkah tersebut bisa diulang dengan kombinasi berbeda yaitu dari nilai iterasi yang berbeda, elemen struktur, maupun operator morfologinya.

3.2.Desain Sistem

Subbab ini menjelaskan mengenai desain sistem aplikasi untuk implementasi algoritma morfologi. Desain sistem ini meliputi desain antar muka aplikasi, desain data, desain proses, dan desain implementasi. Desain data berisikan penjelasan data yang diperlukan untuk dapat menerapkan metode morfologi ini. Desain data meliputi data masukan, data selama proses dan data keluaran. Desain proses antara lain menjelaskan tentang proses pemilihan algoritma morfologi dan pendeteksian fitur retinopati pada citra mata.

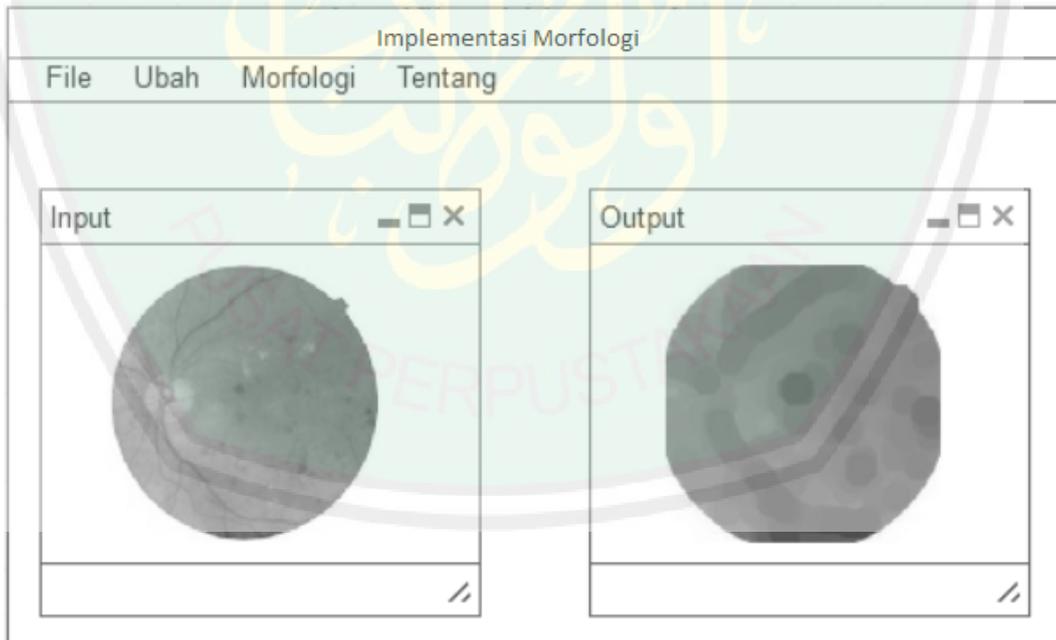
3.2.1. Desain Antar Muka

Desain antar muka yaitu perancangan tampilan aplikasi sebagai syarat dasar aplikasi yang layak untuk dioperasikan pengguna. Desain antar muka aplikasi meliputi *window*, *menu*, *file chooser*, *dialog box*, dan sebagainya, yang akan dibuat untuk membangun aplikasi.

Berikut merupakan rancangan dasar bagaimana aplikasi akan dibuat.



Gambar 20. Rancangan antar muka dasar dan menu



Gambar 21. Rancangan antar muka *input* dan *output*

3.2.2. Desain Data

Desain data dalam implementasi perangkat lunak ini dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu data masukan, data pemrosesan morfologi, dan data hasil simpan atau keluaran.

1) *Data Input*

Data masukan awal yaitu citra mata dengan retinopati. Pada sistem ini citra yang dimasukkan berupa citra RGB tipe JPEG. Data masukan kedua yaitu masukan pilihan operator morfologi, pilihan elemen struktur, dan jumlah iterasi proses komputasi.

2) *Data Selama Pemrosesan*

Terdapat beberapa tahap yaitu tahap awal adalah mengkonversi citra ke format *grayscale*. Pada tahap ini ketika citra RGB dibuka maka secara otomatis diubah ke citra *grayscale*. Pada tahap ini dihasilkan data citra format *grayscale*. Kemudian data citra tersebut diproses oleh algoritma morfologi pilihan pengguna, dengan pilihan elemen struktur, dan jumlah iterasi, untuk memperoleh data selanjutnya yaitu data hasil ekstraksi algoritma morfologi.

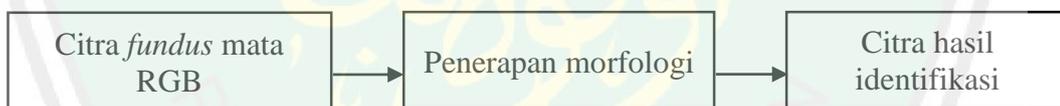
3) *Data Output*

Data keluaran yang dihasilkan aplikasi ini adalah citra hasil proses identifikasi dengan algoritma morfologi yang ditentukan untuk menghasilkan keluaran yang paling optimal. Data keluaran yang ditampilkan yaitu data yang dihasilkan oleh data proses ekstraksi fitur retinopati.

3.2.3. Desain Proses

Desain proses digunakan untuk mengetahui proses apa saja yang berlangsung dalam sistem. Desain proses untuk aplikasi ini menggunakan *flowchart*. Perangkat lunak yang digunakan untuk pembuatan *flowchart* yaitu Microsoft Visio 2013.

Flowchart menunjukkan hubungan antar proses, data masukan, data selama pemrosesan, dan data keluaran yang terlibat dalam sistem. Garis besar jalannya sistem ini yaitu pengguna memasukkan citra mata dengan fitur retinopati yang berformat *grayscale*, kemudian pengguna memilih operator morfologi, elemen struktur, dan jumlah iterasi yang ditentukan pengguna, lalu aplikasi mengolah masukan kemudian menampilkan hasil pemrosesan dengan citra awal. Secara garis besar jika digambarkan dengan *flowchart* dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 22. Diagram alir system

1) *Preprocessing* Citra

Tahap awal ini yaitu mengubah format citra RGB menjadi format *grayscale*. Tahap ini penting karena algoritma morfologi berperan optimal pada citra *grayscale*. Berikut diagram alir dari preprocessing.

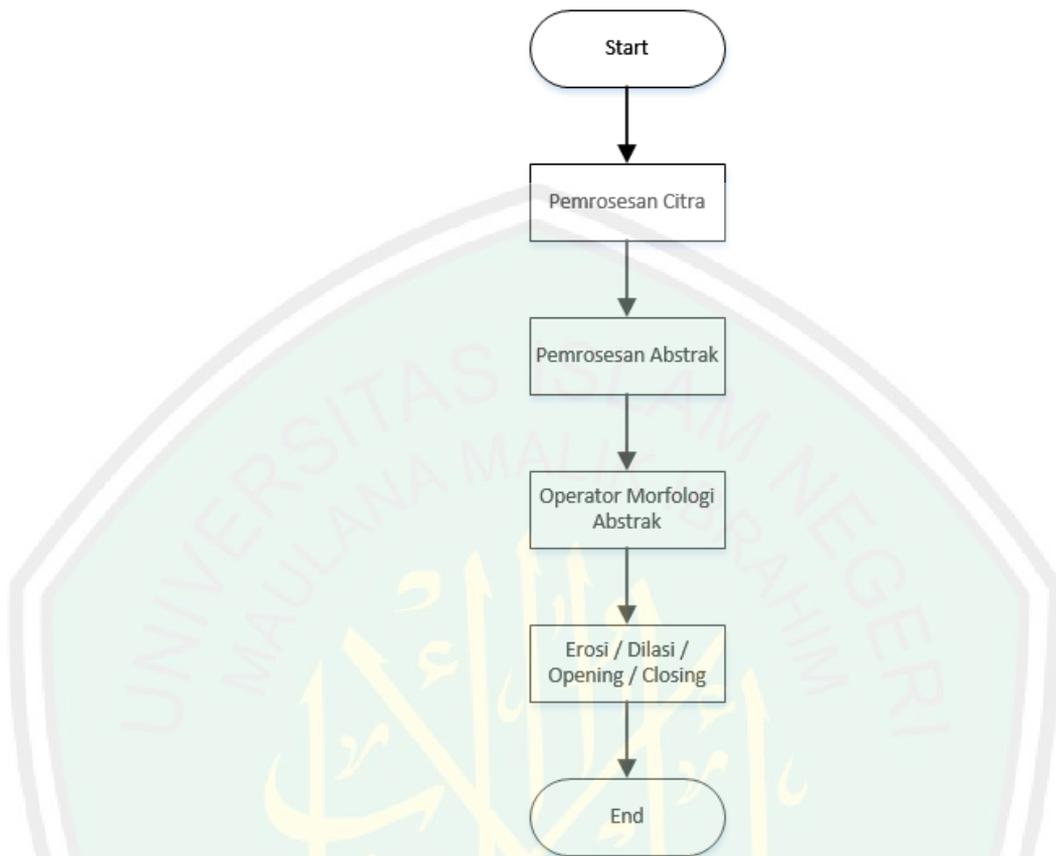


Gambar 23. Preprocessing citra fundus mata

Citra fundus mata retinopati format RGB dimasukkan kemudian dikonversi ke format *grayscale*. Setelah dimasukkan maka citra otomatis akan berubah menjadi berformat *grayscale*.

2) Proses Pemilihan Operator Morfologi

Langkah kedua yaitu pemrosesan abstrak, dimana disini citra diolah dengan operator morfologi abstrak, baru kemudian dijalankan pengolahan operator morfologinya sesuai pilihan pengguna. Proses operator morfologi dijelaskan dalam diagram-diagram berikut.

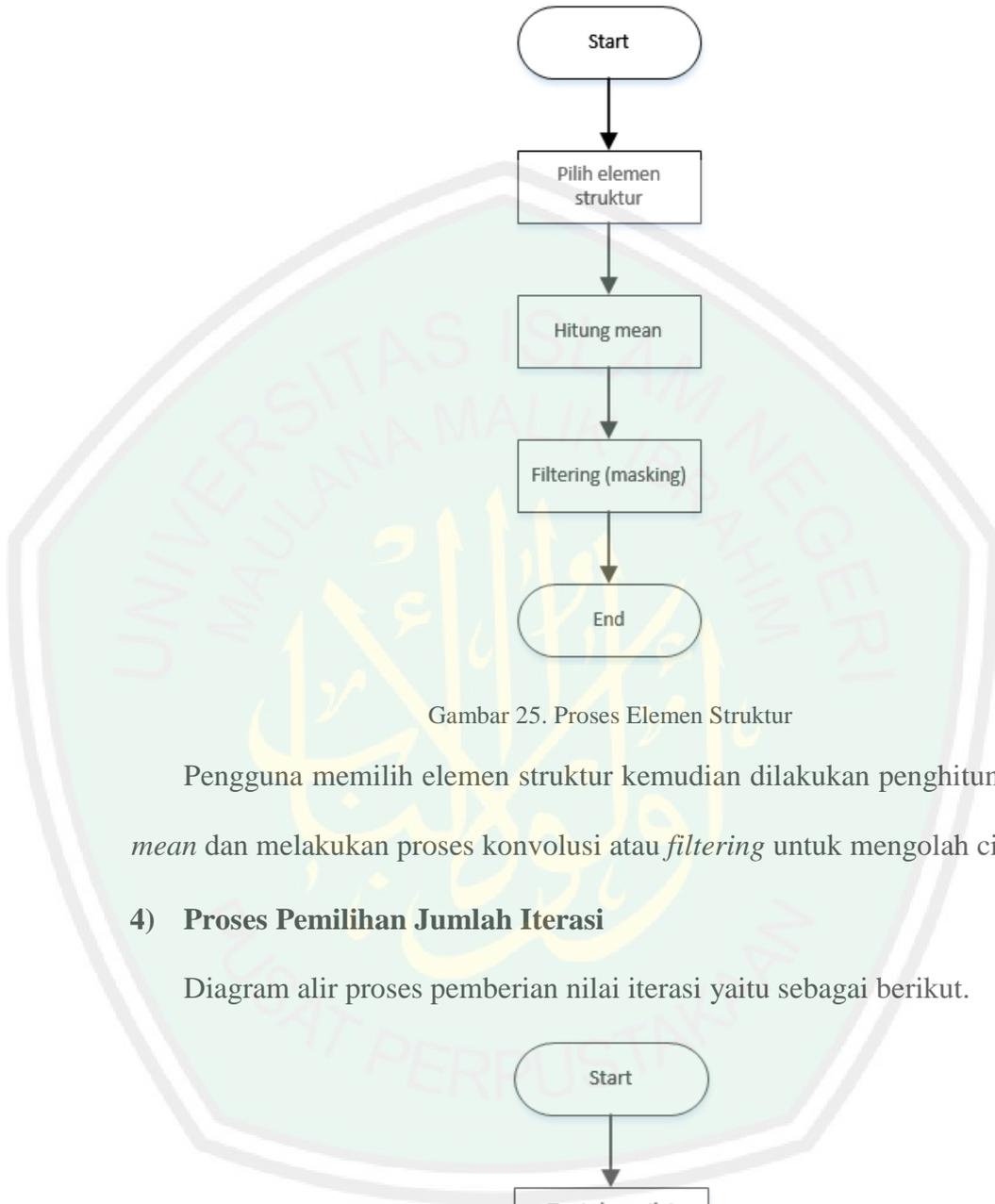


Gambar 24. Diagram alir proses morfologi

Proses ini dimulai dengan memproses *buffer* citra masukan lalu dijalankan pemrosesan abstrak. Pemrosesan abstrak yaitu pengambilan nilai total piksel dan piksel yang diidentifikasi. Setelah itu proses operator morfologi abstrak dijalankan yaitu mengambil lebar dan panjang total piksel yang dianalisa kemudian mengkomputasinya dengan iterasi yang diberikan dan warnanya, kemudian membandingkan total piksel dengan piksel tersebut yang dideteksi. Kemudian dilakukan proses morfologi sesuai operator morfologi yang dipilih sebelumnya.

3) Proses Pemilihan Elemen Struktur

Diagram alir elemen struktur yaitu sebagai berikut.

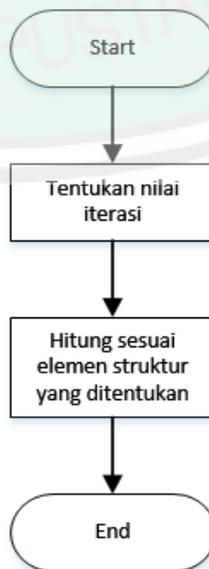


Gambar 25. Proses Elemen Struktur

Pengguna memilih elemen struktur kemudian dilakukan penghitungan *mean* dan melakukan proses konvolusi atau *filtering* untuk mengolah citra.

4) Proses Pemilihan Jumlah Iterasi

Diagram alir proses pemberian nilai iterasi yaitu sebagai berikut.



Gambar 26. Diagram alir proses pemilihan nilai iterasi

Pengguna menentukan nilai iterasi yang akan digunakan untuk mengulang proses komputasi sesuai operator morfologi dan elemen struktur yang ditentukan sebelumnya. Aplikasi akan mengkomputasi sesuai hitungan iterasi tersebut.

3.2.4. Desain Implementasi

Subbab ini membahas proses inti dalam sistem yang telah dirancang. Desain implementasi aplikasi ini dibagi ke dalam bagian-bagian berikut, yaitu:

- Konversi citra RGB ke format *grayscale*
- Pemilihan operator morfologi yaitu dilasi, erosi, *opening*, *closing*
- Pemilihan elemen struktur yaitu garis horisontal, garis vertikal, wajik, persegi, dan rhombus
- Pemilihan jumlah iterasi
- Peningkatan citra hasil dengan transformasi citra

1) Konversi Citra RGB ke Format *Grayscale*

Proses konversi ini diletakkan pada saat setelah pengguna membuka citra mata RGB. Algoritma konversi format RGB ke *grayscale* dijalankan setelah citra RGB dimasukkan, maka citra RGB otomatis diubah menjadi *grayscale*.

```
ColorSpace cs =
ColorSpace.getInstance(ColorSpace.CS_GRAY);
```

```

        ColorConvertOp op = new ColorConvertOp(cs,
null);

        image = op.filter(image, null);

        return image;

```

2) Pemilihan Operator Morfologi (Erosi, Dilasi, *Opening*, *Closing*)

Proses pemilihan operator morfologi yaitu pengguna menentukan operator morfologi mana yang akan digunakan untuk mengolah citra. Operator morfologi yaitu erosi, dilasi, *opening*, dan *closing*. Tiap operator memiliki fungsi masing-masing dalam mengolah citra. Penjelasan kode-kode program pemrosesan morfologi dijelaskan semua di bawah ini.

```

public Erosi(MatriksInteger structuringElement, int
iterations) {
    super("erosi", structuringElement, iterations);
}

```

Kelas Erosi.java mewarisi kelas OperatorMorfAbstrak.java, kemudian membentuk elemen struktur dan jumlah iterasi yang ditentukan atas dasar karakter kelas MatriksInteger.java. Kemudian meng-*override* kelas LSHColor.java untuk mengolah warna yang menerapkan kelas java SortedSet, kelas *Set* yang menyediakan pengurutan total pada elemen-elemennya.

```

@Override

public BufferedImage process(BufferedImage source) {

    if (source == null)

        throw new IllegalArgumentException("Berikan sebuah
data gambar!");
}

```

```

        int totalPixels = source.getWidth() *
source.getHeight();

        fireProcessingStarted(totalPixels * iterasi,
nama);

        LSHImage img = new LSHImage(source);
        LSHImage work = new LSHImage(img.getWidth(),
img.getHeight());

        int currentPixel = 0;
        for (int i = 0; i < iterasi; i++) {
            for (int y = 0; y < img.getHeight(); y++)
                for (int x = 0; x < img.getWidth(); x++) {
                    LSHColor result =
processOperator(img.extractPixels(x,y,elemenStruktur));
                    work.setPixel(x, y, result);

                    fireProcessingProgress(currentPixel, totalPixels);
                    currentPixel++;
                }

            img = work;
            work = new LSHImage(img.getWidth(),
img.getHeight());
        }

        BufferedImage result = img.toImageLike(source);

        fireProcessingEnded(totalPixels, result);

        return result;
    }
}

```

Tampak kelas OperatorMorfAbstrak.java mengambil lebar dan panjang total piksel yang dianalisa kemudian mengkomputasinya dengan iterasi

yang diberikan dan warnanya, kemudian membandingkan total piksel dengan piksel tersebut yang dideteksi.

```
public void set(BufferedImage img, int imgX, int imgY) {  
    int x1 = imgX - getWidth() / 2;  
    int y1 = imgY - getHeight() / 2;  
    int x2 = imgX + getWidth() / 2;  
    int y2 = imgY + getHeight() / 2;  
    int l = 0;  
    for (int y = y1; y <= y2; y++) {  
        int c = 0;  
        for (int x = x1; x <= x2; x++) {  
            int px = x < 0 ? 0 : (x >= img.getWidth() ?  
img.getWidth() - 1 : x);  
            int py = y < 0 ? 0 : (y >= img.getHeight() ?  
img.getHeight() - 1 : y);  
            set(c, l, img.getRGB(px, py)); c++;  
        }  
        l++;  
    }  
}
```

Kelas `MatriksInteger.java` menganalisa koordinat x dan y piksel yang dideteksi kemudian mendapatkan nilai lebar dan panjangnya. Setelah mendapatkan nilai panjang dan lebar piksel kemudian algoritma konvolusi atau *filtering* dijalankan.

```
private MinMaxMed(Color rgb) {  
    // r > g >= b  
    if (rgb.getRed() > rgb.getGreen())
```

```

        && rgb.getGreen() >= rgb.getBlue())
        set(0, rgb.getRed(), rgb.getGreen(),
rgb.getBlue());

        // g >= r > b
        else if (rgb.getGreen() >= rgb.getRed()
        && rgb.getRed() > rgb.getBlue())
        set(1, rgb.getGreen(), rgb.getRed(),
rgb.getBlue());
        // g > b >= r
        else if (rgb.getGreen() > rgb.getBlue()
        && rgb.getBlue() >= rgb.getRed())
        set(2, rgb.getGreen(), rgb.getBlue(),
rgb.getRed());
        // b >= g > r
        else if (rgb.getBlue() >= rgb.getGreen()
        && rgb.getGreen() > rgb.getRed())
        set(3, rgb.getBlue(), rgb.getGreen(),
rgb.getRed());
        // b > r >= g
        else if (rgb.getBlue() > rgb.getRed()
        && rgb.getRed() >= rgb.getGreen())
        set(4, rgb.getBlue(), rgb.getRed(),
rgb.getGreen());

        else

        // r >= b > g
        set(5, rgb.getRed(), rgb.getBlue(),
rgb.getGreen());
    }

```

Kelas LSHColor.java merupakan kelas yang mengolah warna citra untuk mendapatkan data warna yaitu data format RGB.

```
public Dilasi(MatriksInteger structuringElement, int
iterations) {
    super("dilasi", structuringElement, iterations);
}
```

Serupa dengan kelas Erosi.java namun berbeda dalam algoritma morfologi, kelas Dilasi.java diturunkan dari OperatorMorfAbstrak.java yang menerapkan algoritma morfologi dilasi menggunakan kelas MatriksInteger.java dan atas dasar masukan nilai iterasi dan elemen struktur yang dipilih sebelumnya.

```
public Opening(MatriksInteger structuringElement, int
iterations) {
    super(structuringElement, iterations);
}
```

Berbeda dengan morfologi erosi dan dilasi, kelas Opening.java dan Closing.java diturunkan dari OperatorGabunganAbstrak.java. Kelas Opening.java dan kelas Closing.java menerapkan sifat kelas OperatorMorfAbstrak.java kemudian membuat variabel baru dengan urutan morfologi erosi terlebih dahulu kemudian morfologi dilasi.

```
public Closing(MatriksInteger structuringElement, int
iterations) {
    super(structuringElement, iterations);
}
```

Alur kelas ini sama dengan kelas `Opening.java` namun sebaliknya, penerapan algoritma dimulai dengan morfologi dilasi kemudian morfologi erosi.

3) Pemilihan Elemen Struktur

Proses pemilihan elemen struktur yaitu proses dimana pengguna menentukan elemen struktur apa yang dipilih sebagai konsekuensi atas operator morfologi yang dipilih sebelumnya. Elemen struktur yang dideskripsikan dalam program ini terdiri dari garis horisontal, garis vertikal, wajik, persegi, dan rhombus. Bentuk-bentuk elemen struktur ini akan digunakan untuk pendeteksian menurut bentuk dan struktur fitur retinopati ketika diuji coba nanti, karena tiap elemen struktur akan mendeteksi fitur retinopati yang berbeda. Tiap elemen struktur menghasilkan hasil deteksi yang memiliki ciri-ciri berbeda dan selain itu juga ditentukan dari jumlah iterasi yang dimasukkan. Misalkan elemen struktur rhombus dan algoritma erosi akan mendeteksi mengerosi objek identifikasi yang identik dengan sifat algoritma erosi dan bentuk rhombus. Nilai iterasi fungsinya untuk pengulangan proses, hasilnya tergantung dari semakin besar atau semakin kecil nilai iterasinya. Berikut tampilan kode yang menangani elemen struktur.

```
HORIZONTAL_LINE("Garis horisontal") {
    @Override
    public MatriksInteger getMatrix() {
        return new MatriksInteger(
            3, 1,
```

```

        1, 1, 1);
    }
},
VERTICAL_LINE("Garis vertikal") {
    @Override
    public MatriksInteger getMatrix() {
        return new MatriksInteger(
            1, 3,
            1, 1, 1);
    }
},
SQUARE("Persegi") {
    @Override
    public MatriksInteger getMatrix() {
        return new MatriksInteger(
            3, 3,
            1, 1, 1,
            1, 1, 1,
            1, 1, 1);
    }
},
RHOMBUS("Rhombus") {
    @Override
    public MatriksInteger getMatrix() {
        return new MatriksInteger(
            5, 5,
            0, 1, 1, 1, 0,
            1, 1, 1, 1, 1,

```

```

        1, 1, 1, 1, 1,
        1, 1, 1, 1, 1,
        0, 1, 1, 1, 0);
    }
},
WAJIK("Wajik") {
    @Override
    public MatriksInteger getMatrix() {
        return new MatriksInteger(
            6,6,
            0,0,1,1,0,0,
            0,1,1,1,1,0,
            1,1,1,1,1,1,
            1,1,1,1,1,1,
            0,1,1,1,1,0,
            0,0,1,1,0,0);
    }
};

```

4) Pemilihan Jumlah Iterasi

Jumlah iterasi yang ditentukan disini yaitu jumlah iterasi untuk proses algoritma morfologi yang diulang sebanyak jumlah iterasi tersebut. Maksimal iterasi yang diperbolehkan yaitu 100 kali putaran. Kelas yang memproses masukan iterasi yaitu kelas ElemenStruktur.java dan MatriksInteger.java.

5) Peningkatan citra hasil dengan transformasi citra

Fitur transformasi citra dalam aplikasi dibuat untuk memberikan penampilan yang lebih baik bagi pengguna. Fitur seperti pemutaran, pembalikan, pengecilan, dan pembesaran citra merupakan fitur-fitur penting guna memberikan tampilan yang diinginkan pengguna. Berikut kelas-kelas yang menerapkan transformasi citra.

```
R90(Math.PI / 2, true),
R180(Math.PI, false),
R270(3 * Math.PI / 2, true);
private double sudut;
private boolean inverseLebarDanTinggi;
private Rotasi(double angle, boolean i) {
    this.sudut = angle;
    this.inverseLebarDanTinggi = i;
}
public double getSudut() {
    return sudut;
}
public boolean isInverseLebarDanTinggi() {
    return inverseLebarDanTinggi;
}
```

Kelas ini menghitung sudut, lebar, dan tinggi citra masukan kemudian dirotasi dengan tiga pilihan yaitu 90°, 180°, dan 270°.

```
private boolean balikVertikal = false;
private boolean balikHorisontal = false;
private int w = 0;
private int h = 0;
```

```

        public TransformasiCitra(boolean vertikal, boolean
horizontal,

            int w, int h) {

                super();

                this.balikVertikal = vertikal;

                this.balikHorizontal = horizontal;

                this.w = w;

                this.h = h;

            }

        public TransformasiCitra(boolean flipVertical,
boolean flipHorizontal) {

            this(flipVertical, flipHorizontal, 0, 0);

        }

        public TransformasiCitra(int w, int h) {

            this(false, false, w, h);

        }

        public TransformasiCitra(BufferedImage img, double
scale) {

            w = img == null ? 0 : (int) (img.getWidth() *
scale);

            h = img == null ? 0 : (int) (img.getHeight() *
scale);

        }

        @Override

        public BufferedImage process(BufferedImage source) {

            fireProcessingStarted(-1, "transformasi");

```

```

        int w = this.w == 0 ? source.getWidth() :
this.w;

        int h = this.h == 0 ? source.getHeight() :
this.h;

        BufferedImage out =
Utilitas.newTransformedImage(source, w, h,
        balikVertikal, balikHorisontal);
        fireProcessingEnded(-1, out);
        return out;
    }

```

Kelas ini menjalankan pembalikan dan pembesaran. Pembalikan dilakukan dengan cara mendapatkan lebar dan tinggi citra kemudian melakukan algoritma pembalikan ataupun pembesaran terhadap citra. Pembalikan yaitu secara horisontal, vertikal, maupun keduanya sekaligus, sedangkan pembesaran yaitu sebesar 200%, 400%, dan 800%.

```

public Penyusutan(BufferedImage img2, boolean reverse,
        ChannelWarna... channels) {
    super(channels);
    this.img = img2;
    this.reverse = reverse;
}

@Override
protected int processChannel(BufferedImage img1,
ChannelWarna channel,
        int x, int y, int tone) {
    if (x >= img.getWidth() || y >= img.getHeight())
{

```

```
        return tone;
    }
    return reverse ? Math.max(0,
channel.get(img.getRGB(x, y)) - tone)
        : Math.max(0, tone -
channel.get(img.getRGB(x, y)));
}
```

Kelas ini menerapkan pengecilan citra dengan pilihan penyusutan sebesar 50%, 25%, 12,5% terhadap citra.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai hasil uji coba sistem yang telah dirancang dan dibuat. Uji coba dilakukan untuk mengetahui apakah sistem dapat mendeteksi fitur retinopati dengan tepat beserta lingkungan uji coba yang telah ditentukan dan dilakukan sesuai dengan skenario uji coba.

4.1.Lingkungan Uji Coba

Lingkungan uji coba yang digunakan dalam melakukan uji coba dalam skripsi ini. Berikut adalah perangkat keras dan lunak yang digunakan.

Tabel 1. Lingkungan uji coba

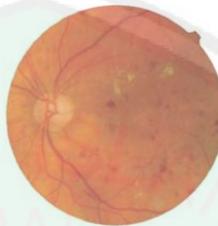
Perangkat Keras	<i>Processor: Core i7</i> RAM: 8GB
Perangkat Lunak	OS: Windows 8.1 x64 IDE: Netbeans 8

Lingkungan uji coba dalam tabel tersebut sudah dipertimbangkan sesuai keperluannya. Dengan processor Core i7 dan RAM sebesar 8GB diharapkan dapat komputasi algoritma dengan cepat saat pengujian.

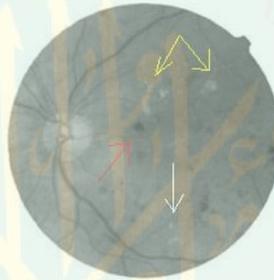
4.2.Data Uji Coba

Citra yang digunakan dalam pendeteksian fitur retinopati ini berformat JPEG. Uji coba yang digunakan menggunakan citra retinopathy.jpeg beresolusi 219x217

piksel. Masing-masing operator algoritma morfologi dan elemen struktur yang digunakan mendeteksi dan menyesuaikan dengan fitur retinopati yang berbeda. Berikut adalah gambar citra fitur retinopati yang akan digunakan dalam uji coba.



Gambar 27. Citra mata uji coba yang terdapat *diabetic retinopathy*



Gambar 28. Fitur retinopati; Panah kuning menunjukkan *hard exudates* dan *cotton wool*, panah merah menunjukkan *hemorrhage*, panah putih: *soft exudates*

Di atas merupakan penjelasan fitur retinopati yang terdapat pada citra mata uji coba. Panah kuning merupakan *hard exudates* dan *cotton wool*, panah merah menunjukkan *microaneurysm* dan *hemorrhage*, sedangkan panah putih menunjukkan *soft exudates*.

4.3. Hasil Uji Coba

Tahap selanjutnya merupakan tahap uji coba. Uji coba dilakukan untuk mengetahui fungsi algoritma morfologi ketika diimplementasikan terhadap fitur retinopati sekaligus mengetahui ciri-ciri fitur retinopati setelah diekstraksi oleh algoritma morfologi.

4.4. Tampilan Aplikasi

Sebelumnya akan dijelaskan tampilan dasar aplikasi ketika dijalankan. Aplikasi memiliki 4 menu utama yaitu “File”, “Ubah”, “Morfologi”, dan “Tentang”.



Gambar 29. Tampilan awal aplikasi

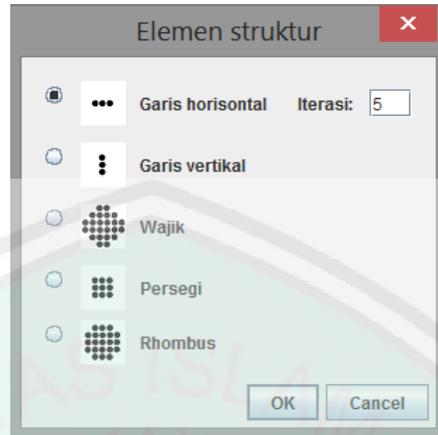
Pada menu “File” terdapat submenu “Buka...” untuk membuka file citra yang akan diidentifikasi, submenu “Simpan sebagai...” untuk menyimpan file citra setelah pengujian dan identifikasi selesai dilakukan. Pada menu “Ubah” terdapat submenu “Rotasi”, “Balik”, “Susutkan”, dan “Perluas”. Pada submenu “Rotasi” terdapat sub-submenu “putar” 90, 180, dan 270 derajat. Pada submenu “Balik” terdapat sub-submenu “Vertikal”, “Horisontal”, dan “Keduanya”. Pada submenu “Susutkan” terdapat sub-submenu 50%, 25%, dan 12,5%. Pada submenu “Perluas” terdapat sub-submenu 200%, 400%, dan 800%. Menu “Morfologi” menyajikan

submenu operator morfologi yaitu “Erosi”, “Dilasi”, “Opening”, “Closing”, dan “Rekonstruksi”. Menu “Tentang” menyajikan submenu “Aplikasi” yaitu informasi seputar aplikasi ini.



Gambar 30. Tampilan aplikasi ketika pengguna memasukkan citra

Tampilan ketika citra dibuka disediakan dengan jendela yang mengikuti ukuran resolusi citra. Jendela citra bisa diperkecil atau diperbesar. Setelah memasukkan citra *input* maka pengguna dapat memilih menu “Morfologi”, kemudian memilih operator morfologi yaitu “Dilasi”, “Erosi”, “Opening”, dan “Closing” yang akan digunakan untuk menguji coba.



Gambar 31. Tampilan kotak dialog pemilihan elemen struktur

Setelah memilih operator morfologi, maka kotak pemilihan elemen struktur akan muncul. Elemen struktur ini digunakan untuk mengekstraksi struktur dan area fitur retinopati sesuai dengan elemen struktur tersebut.



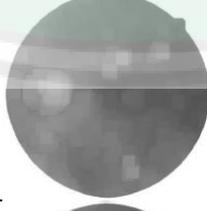
Gambar 32. Tampilan citra setelah dideteksi algoritma morfologi

Tampilan hasil citra keluaran memunculkan jendela baru yang bisa dipindah atau disejajarkan, jadi pengguna dapat mengelolanya dengan rapi.

4.5. Uji Coba Citra dengan Operator Dilasi

Operator dilasi lebih cenderung berpengaruh terhadap bintik-bintik yang berwarna putih yaitu *exudates*, pembuluh darah dan *hemorrhage* menjadi kabur begitu juga dengan area sekitar yang berintensitas lebih gelap. Operator dilasi cenderung berpengaruh terhadap area dengan intensitas cahaya lebih tinggi.

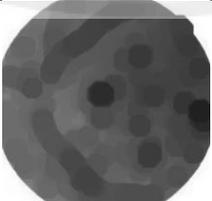
Tabel 2. Perbandingan hasil uji coba operator dilasi

Elemen struktur	Jumlah iterasi	Citra Keluaran	Keterangan
Garis horisontal	5		<ul style="list-style-type: none"> - <i>Exudates</i> dan <i>optic disk</i> tidak menjadi kabur. - <i>Hemorrhage</i> menjadi kabur. - Pembuluh darah cenderung kabur
Garis vertikal	5		<ul style="list-style-type: none"> - <i>Exudates</i> dan <i>optic disk</i> tidak menjadi kabur. - <i>Hemorrhage</i> menjadi kabur. - Pembuluh darah cenderung sedikit kabur
Wajik	5		<ul style="list-style-type: none"> - <i>Hemorrhage</i> tidak tampak. - Struktur <i>exudates</i> dan <i>optic disk</i> terdilasi (tertebalkan).
Persegi	5		<ul style="list-style-type: none"> - <i>Hemorrhage</i> tidak tampak. - Struktur <i>exudates</i> dan <i>optic disk</i> terdilasi (tertebalkan) namun beda dengan elemen struktur wajik.
Rhombus	5		<ul style="list-style-type: none"> - Hasilnya hampir mirip dengan hasil uji coba elemen struktur wajik

4.6. Uji Coba Citra dengan Operator Erosi

Operator erosi kebalikan dari dilasi, cenderung berpengaruh terhadap area intensitas gelap. *Hemorrhage*, *microaneurysm*, dan pembuluh darah saja yang tererosi. Di sini *background* dan *exudates* tak tererosi.

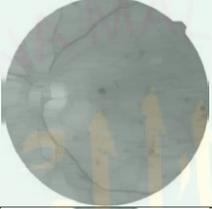
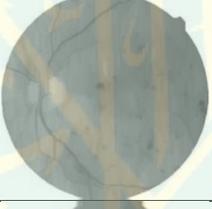
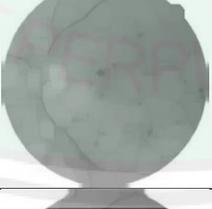
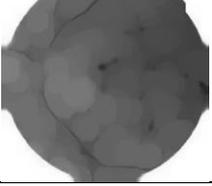
Tabel 3. Perbandingan hasil uji coba operator erosi

Elemen struktur	Jumlah iterasi	Hasil	Keterangan
Garis horisontal	5		<ul style="list-style-type: none"> - <i>Hemorrhage</i>, <i>microaneurysm</i>, dan pembuluh darah saja yang tererosi. - Struktur pembuluh darah menjadi lebih terlihat.
Garis vertikal	5		<ul style="list-style-type: none"> - <i>Hemorrhage</i>, <i>microaneurysm</i>, dan pembuluh darah saja yang tererosi. - Struktur pembuluh darah menjadi lebih terlihat.
Wajik	5		<ul style="list-style-type: none"> - Elemen wajik lebih berpengaruh terhadap bintik <i>hemorrhage</i> dan <i>microaneurysm</i>
Persegi	5		<ul style="list-style-type: none"> - Elemen persegi lebih berpengaruh terhadap bintik gelap daripada elemen wajik. Seperti pada gambar, lebih banyak bintik gelap yang terdilasi.
Rhombus	5		<ul style="list-style-type: none"> - Elemen rhombus disini hampir sama hasilnya dengan elemen wajik.

4.7. Uji Coba Citra dengan Operator *Opening*

Operator *opening* lebih berpengaruh terhadap bagian-bagian intensitas gelap dengan cukup signifikan. Bintik *hemorrhage* dan pembuluh darah tampak tidak banyak berubah dibanding fitur-fitur lainnya.

Tabel 4. Perbandingan hasil uji coba operator *opening*

Elemen struktur	Jumlah iterasi	Hasil	Keterangan
Garis horisontal	5		- Tidak memberikan pengaruh begitu banyak terhadap daerah gelap maupun terang, namun lebih <i>smooth</i> .
Garis vertikal	5		- Tidak memberikan pengaruh begitu banyak terhadap daerah gelap maupun terang, namun lebih <i>smooth</i> .
Wajik	5		- Bintik <i>hemorrhage</i> , yaitu daerah dengan intensitas cahaya rendah tidak berubah, begitu juga dengan pembuluh darah.
Persegi	5		- Bintik <i>hemorrhage</i> , yaitu daerah dengan intensitas cahaya rendah tidak berubah, begitu juga dengan pembuluh darah. Namun daerah <i>optic disk</i> sedikit terproses.
Rhombus	5		- Hasilnya hampir sama dengan elemen struktur wajik

4.8. Uji Coba Citra dengan Operator *Closing*

Operator *closing* lebih cenderung berpengaruh terhadap area *optic disk* dan *exudates*, yaitu area dengan intensitas cahaya tinggi pada citra. Area *hemorrhage* dan bintik *microaneurysm* menjadi kabur dan tersamarkan.

Tabel 5. Perbandingan hasil uji coba operator *closing*

Elemen struktur	Jumlah iterasi	Hasil	Keterangan
Garis horisontal	5		<ul style="list-style-type: none"> - <i>Optic disk</i> dan <i>cotton wool</i> tidak banyak terpengaruh - Pembuluh darah menjadi kabur
Garis vertikal	5		<ul style="list-style-type: none"> - <i>Optic disk</i> dan <i>cotton wool</i> tidak banyak terpengaruh - Pembuluh darah lebih sedikit kabur
Wajik	5		<ul style="list-style-type: none"> - <i>Optic disk</i> dan <i>cotton wool</i> terpengaruh - Selain itu menjadi kabur
Persegi	5		<ul style="list-style-type: none"> - Hasilnya sama dengan elemen struktur wajik
Rhombus	5		<ul style="list-style-type: none"> - Hasilnya sama dengan elemen struktur wajik

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan kesimpulan yang didapat dari pengerjaan tugas akhir skripsi ini beserta saran yang perlu diperhatikan untuk pengembangan selanjutnya. Kesimpulan diambil berdasarkan pengaruh operator morfologi dan elemen struktur terhadap tiap fitur retinopati pada citra, perbedaan hasil antar operator dan antar elemen struktur.

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan aplikasi yang telah dibuat beserta uji coba yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Pemilihan operator morfologi dan elemen struktur saling terkait dalam menentukan hasil dan merupakan faktor utama dalam ekstraksi fitur retinopati pada citra.
- Uji coba dengan operator dilasi pada tabel 2 menunjukkan operator dilasi lebih cenderung berpengaruh terhadap bintik-bintik yang berwarna putih yaitu *exudates*, pembuluh darah dan *hemorrhage* menjadi kabur begitu juga dengan area sekitar yang berintensitas lebih gelap. Operator dilasi cenderung berpengaruh terhadap area dengan intensitas cahaya lebih tinggi.
- Uji coba dengan operator erosi pada tabel 3 menunjukkan bahwa operator erosi cenderung berpengaruh terhadap area intensitas gelap. *Hemorrhage*,

microaneurysm, dan pembuluh darah saja yang tererosi. Di sini *background* dan *exudates* tak tererosi.

- Uji coba dengan operator *opening* pada tabel 4 menunjukkan bahwa operator *opening* lebih berpengaruh terhadap bagian-bagian intensitas gelap dengan cukup signifikan. Bintik *hemorrhage* dan pembuluh darah tampak tidak banyak berubah dibanding fitur-fitur lainnya.
- Uji coba dengan operator *closing* pada tabel 5 menunjukkan bahwa operator *closing* lebih cenderung berpengaruh terhadap area *optic disk* dan *exudates*, yaitu area dengan intensitas cahaya tinggi pada citra. Area *hemorrhage* dan bintik *microaneurysm* menjadi kabur dan tersamarkan.
- Pada tabel 2 operator erosi menunjukkan tampilan *hemorrhage* yang lebih jelas, dimana bintik *hemorrhage* lebih tampak dan mendetail daripada fitur retinopati di sekitarnya.
- Elemen struktur pada percobaan operator dilasi tabel 2 menunjukkan bahwa semua elemen struktur cenderung berpengaruh pada struktur *optic disk* dan *cotton wool*. Namun elemen struktur garis horisontal dan vertikal lebih kurang berpengaruh dari elemen struktur lainnya.
- Elemen struktur pada percobaan operator erosi tabel 3 menunjukkan bahwa keseluruhan elemen struktur hampir menunjukkan hasil yang sama yaitu, tidak adanya pengaruh yang signifikan selain justru pengaruhnya ke seluruh fitur retinopati, jadi operator erosi tidak begitu bisa dimanfaatkan untuk pengujian pada fitur retinopati.

- Elemen struktur pada percobaan operator *opening* tabel 3 menunjukkan bahwa keseluruhan elemen struktur cenderung berpengaruh terhadap semua selain *hemorrhage*, *microaneurysm*, dan pembuluh darah. Elemen struktur wajik, persegi, dan rhombus menunjukkan pengaruh yang lebih signifikan.
- Elemen struktur pada percobaan operator *closing* tabel 4 menunjukkan bahwa semua elemen struktur cenderung berpengaruh terhadap struktur selain *exudates* dan *cotton wool*, namun elemen struktur garis horisontal dan vertikal lebih tidak berpengaruh.
- Dari keseluruhan hasil uji coba, hasil operator dilasi memiliki kesamaan hasil dengan operator *closing*, sementara operator *erosi* cenderung sama hasilnya dengan operator *opening*. Sedangkan untuk elemen struktur garis horisontal dan vertikal tidak banyak memberikan pengaruh terhadap fitur retinopati dibanding elemen struktur wajik, persegi, dan rhombus.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan hasil uji coba bahwa fitur-fitur retinopati yang terekstraksi atau terdeteksi telah dapat diamati dan diambil garis besarnya, maka saran untuk aplikasi skripsi ini yaitu lebih baik lagi jika ditambahkan unsur kecerdasan buatan seperti identifikasi tiap fitur retinopati yang sudah terdeteksi sesuai bentuk dan struktur misalnya pemberian keterangan nama fitur tersebut sehingga ahli oftalmologi akan lebih jelas menyaring informasi yang dihasilkan aplikasi ini.



DAFTAR PUSTAKA

- Blaesen Anatomy and Physiology. 2013. Blausen Medical Communications, Inc.
- Davuluri et al. 2012. *Hemorrhage Detection and Segmentation in Traumatic Pelvic Injuries*. Computational and Mathematical Methods in Medicine Volume. Article ID 898430.
- Eddy Nurraharjo. 2011. *Implementasi Morphology Concept And Technique Dalam Pengolahan Citra Digital Untuk Menentukan Batas Obyek Dan Latar Belakang Citra*. Universitas Stikubank Semarang.
- Garg, Seema, MD., PhD. 2009. M. Davis, Richard, MD. *Diabetic Retinopathy Screening Update*. American Diabetes Association Inc.
- Garima Gupta, et al. 2013. *Detection Of Retinal Hemorrhages In The Presence Of Blood Vessels*. Indian Institute Of Technology Madras.
- Giancardo, L. 2011. *Automated Fundus Images Analysis Techniques to Screen Retinal Diseases in Diabetic Patients*. Universite De Bourgogne.
- Hyun Geun Yu. 2004. *Morphological Image Segmentation For Co-Aligned Multiple Images Using Watersheds Transformation*. Florida State University.
- I Ketut Gede Darma Putra, dkk. 2010. *Segmentasi Citra Retina Digital Retinopati Diabetes Untuk Membantu Pendeteksian Mikroaneurisma*. Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.
- Iqbal, M. I et al. 2006. *Automatic Diagnosis of Diabetic Retinopathy using Fundus Images*. Blekinge Institute of Technology.
- Kauppi, T., Kämäräinen, Joni-Kristian., Kälviäinen, H. 2006. *Constructing Benchmark Databases and Protocols for Medical Image Analysis: Diabetic Retinopathy*. Comput Math Method.
- Li Tang et al. 2013. *Splat Feature Classification with Application to Retinal Hemorrhage Detection in Fundus Images*. Medical Imaging, IEEE Transactions, Vol. (32), No. (2).
- Luc Vincent. 1994. *Fast Grayscale Granulometry Algorithms*. International Symposium on Mathematical Morphology.
- Nanang Trisnadik, Achmad Hidayatno, R. Rizal Isnanto. 2012. *Pendeteksian Posisi Plat Nomor Kendaraan Menggunakan Metode Morfologi Matematika*. Universitas Diponegoro Semarang.

Pratibha Sampatrao Chavan, Vibhawari A. Badadhe. 2014. *Review Of Vessel Extraction Methods And Hemorrhage Detection Methods For Diabetic Retinopathy*. International Journal of Emerging Technology And Advanced Engineering.

R. Radha, Bijee Lakshman. 2013. *Retinal Image Analysis Using Morphological Process And Clustering Technique*. Department of Computer Science, Chennai.

Ravishankar. 2009. *Automated Feature Extraction for Early Detection of Diabetic Retinopathy in Fundus Images, Computer Vision and Pattern Recognition*. IEEE, CVPR.

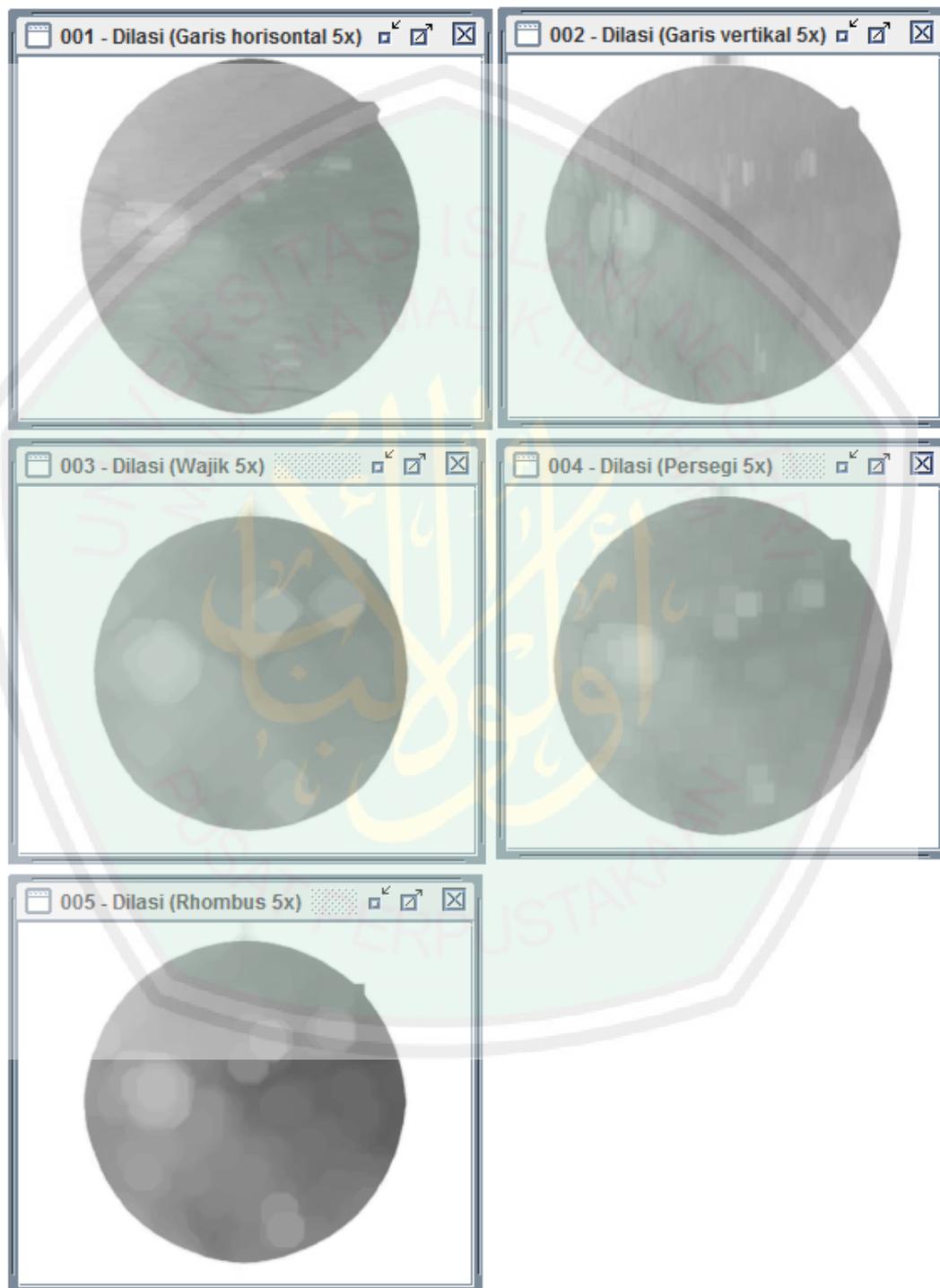
Sutoyo, T., dkk. 2009. *Teori Pengolahan Citra Digital*, Penerbit Andi. Yogyakarta.

Sitompul, R. 2011. *Retinopati Diabetik*. J Indon Med Assoc, Volum: 61, Nomor: 8, 337.

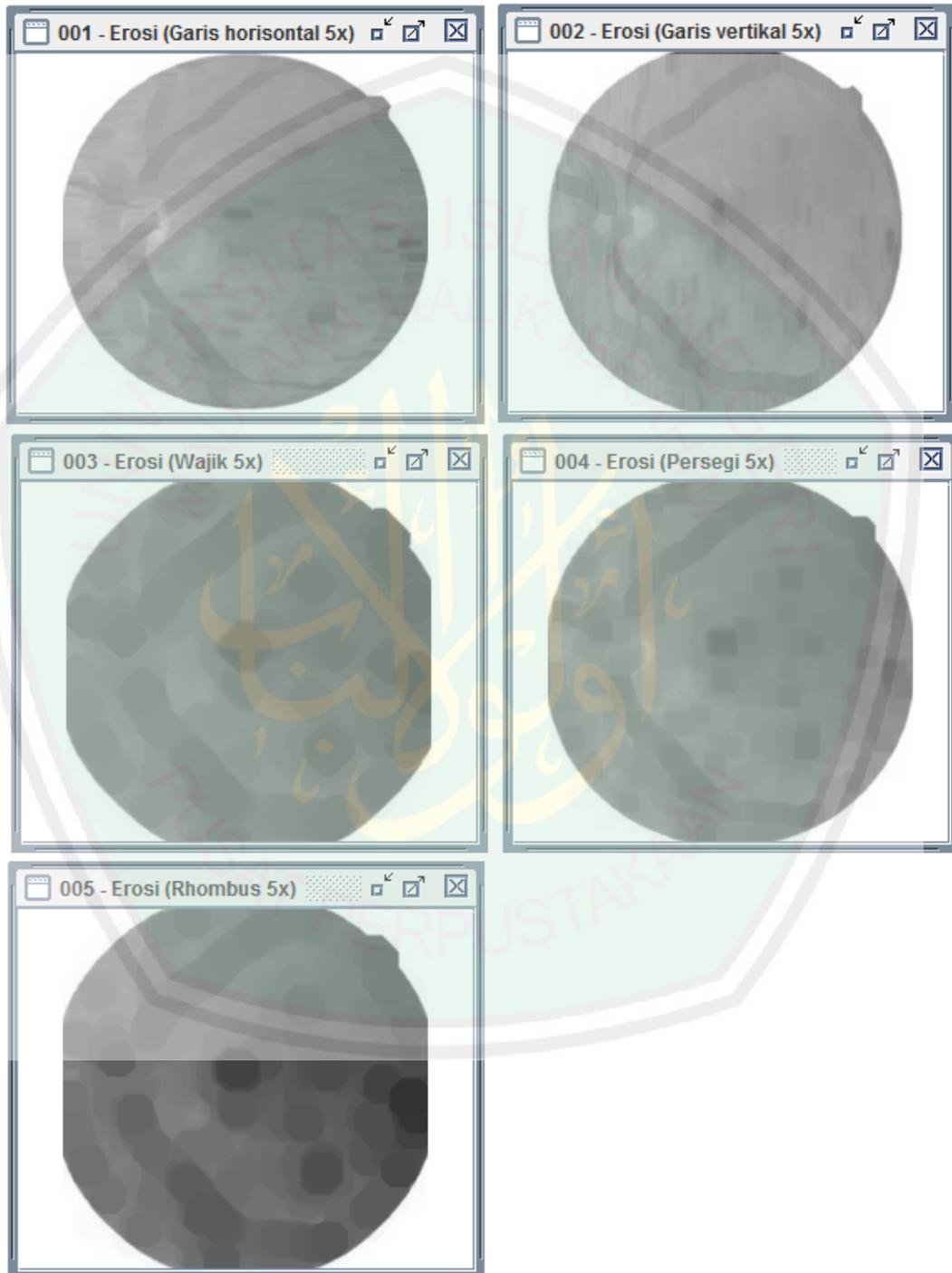
https://github.com/ajdecon/imagej_morphology

<http://wikipedia.org>

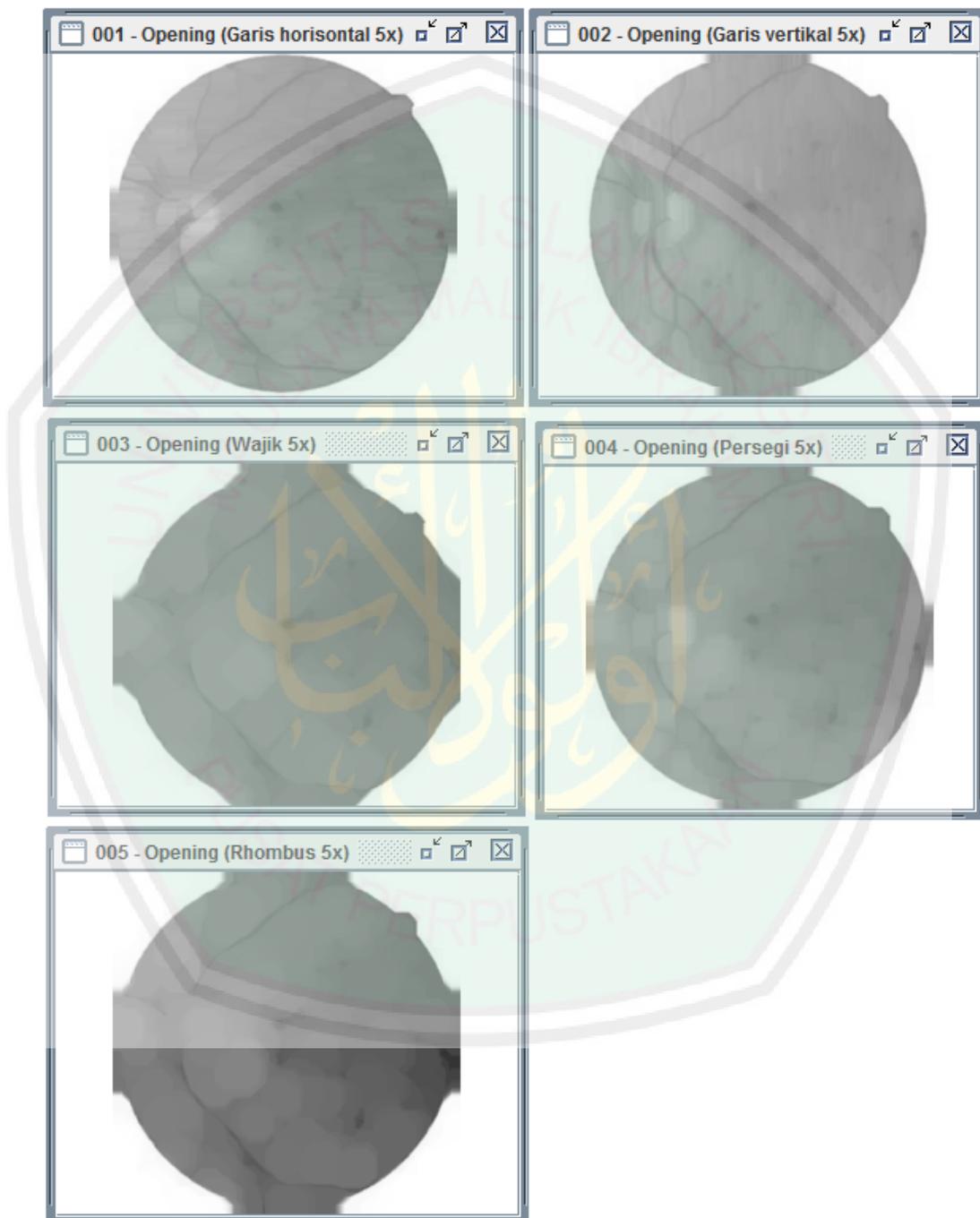
Lampiran 1
Hasil Uji Coba Operator Dilasi



Lampiran 2
Hasil Uji Coba Operator Erosi



Lampiran 3
Hasil Uji Coba Operator *Opening*



Lampiran 4
Hasil Uji Coba Operator *Closing*

