

REVIEW ALGORITMA SEGMENTASI PEMBULUH DARAH PADA CITRA FUNDUS RETINA MATA UNTUK MEMBANTU DIAGNOSIS DIABETIC RETINOPATHY

*Ricky Eka Putra, **Handayani Tjandrasa, ***Nanik Suciati

*Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, ITATS

*****Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, ITS

E-Mail: rickyeka25@yahoo.com, handatj@its.ac.id, nanik@its-sby.edu

ABSTRAK

Diabetic retinopathy merupakan salah satu penyakit retina mata yang diakibatkan oleh komplikasi dari penyakit diabetes mellitus. Salah satu faktor yang penting dalam pendeteksian diabetic retinopathy adalah pembuluh darah pada retina mata. Pendeteksian pembuluh darah pada retina mata merupakan langkah awal dalam proses diagnosis penyakit diabetic retinopathy. Oleh karena itu suatu algoritma untuk segmentasi pembuluh darah yang tepat dan baik sangatlah diperlukan. Makalah ini membahas dan menganalisa berbagai algoritma dan teknik segmentasi pembuluh darah pada citra fundus retina mata. Makalah ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan referensi dalam memilih metode yang akan digunakan peneliti dalam melakukan segmentasi pembuluh darah yang sangat berguna dalam proses diagnosis penyakit diabetic retinopathy.

Kata Kunci: *diabetic retinopathy*, citra fundus retina, pembuluh darah.

1. PENDAHULUAN

Diabetic Retinopathy merupakan salah satu penyakit pada retina mata yang disebabkan oleh diabetes. Penyakit ini menyebabkan keabnormalan pada retina, dan dalam kondisi terparah akan menyebabkan kebutaan. Beberapa faktor yang menyebabkan *diabetic retinopathy* antara lain durasi terkena penyakit diabetes, umur, tingkat tekanan darah, masa puber, kehamilan dan lain-lain [1].

Durasi waktu dari penderita diabetes adalah faktor resiko terpenting dari penyakit ini. Dalam pasien yang didiagnosa mengidap penyakit diabetes sebelum usia 30 tahun, peluang munculnya *diabetic retinopathy* sekitar 50% setelah 10 tahun dan 90% setelah 30 tahun. *Diabetic retinopathy* jarang berkembang setelah 5 tahun dari serangan diabetes atau sebelum masa puber. Sekitar 5% dari diabetes tipe 2 juga mengidap *diabetic retinopathy* [2]. Gambar 1 merupakan pembuluh darah yang tampak dalam citra fundus retina mata.. Gambar 2 merupakan struktur anatomi dari retina mata. Dari Gambar 2 dapat terlihat, bagian-bagian dari retina mata (pembuluh darah, *optic disc*, dan *macula*) termasuk gejala-gejala dari penyakit *diabetic retinopathy* (*exudates* dan *hemorrhage*).

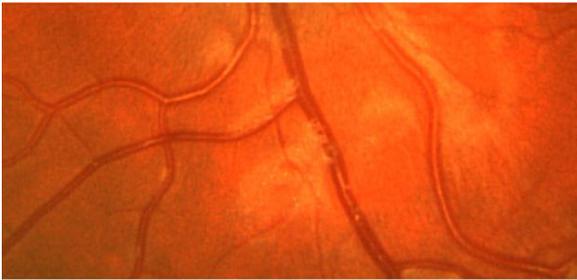
Pembuluh darah merupakan salah satu faktor penting dalam pendeteksian penyakit *diabetic retinopathy*. Pada dasarnya kelainan pada retina mata yang disebabkan oleh penyakit *diabetic retinopathy* merupakan kelainan-kelainan yang ada pada pembuluh darah retina mata [3,4]. Salah satu contoh

gejala *diabetic retinopathy* yang dapat dilihat dari pembuluh darah antara lain munculnya *microaneurysm* dan *hemorrhage* yang disebabkan adanya tonjolan yang ada pada pembuluh darah dalam retina mata [5]. Oleh karena itu diperlukannya suatu metode untuk segmentasi pembuluh darah yang tepat dan baik agar tonjolan yang ada pada pembuluh darah dalam retina dapat terdeteksi secara jelas.

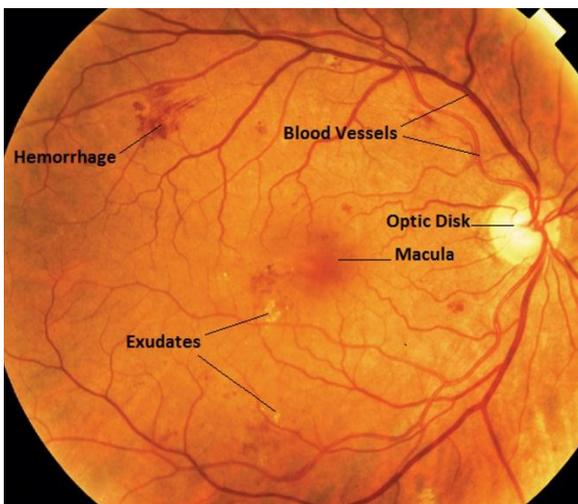
Berbagai penelitian mengenai segmentasi pembuluh darah telah dilakukan oleh beberapa peneliti dalam beberapa tahun terakhir. Beberapa makalah yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini terlihat pada Gambar 3. Dari Gambar 3 terlihat bahwa makalah yang terbanyak dipakai dalam penelitian ini adalah makalah yang dipublikasikan pada tahun 2012. Makalah ini berjumlah 12, merupakan 23% dari jumlah makalah yang dipakai dalam penelitian ini. Hasil penelitian mereka dapat disimpulkan bahwa pada dasarnya metode untuk segmentasi pembuluh darah pada citra fundus retina mata terdiri dari 3 tahap, yakni: *preprocessing*, segmentasi dan *postprocessing*.

Makalah ini disusun sebagai berikut. Pada bagian pertama dijelaskan mengenai segmentasi pembuluh darah pada *diabetic retinopathy*. Pada bagian kedua dijelaskan mengenai *preprocessing* yang digunakan dalam algoritma segmentasi pembuluh darah. Pada bagian ketiga dijelaskan mengenai proses segmentasi yang digunakan. Proses segmentasi ini terbagi menjadi tiga, yakni *image based*, *pattern recognition based* dan *vessel tracking/tracing*. Pada bagian keempat dijelaskan

mengenai *postprocessing* yang digunakan setelah proses segmentasi pembuluh darah.



Gambar 1. Pembuluh darah retina [6]



Gambar 2. Struktur anatomi dalam retina [6]



Gambar 3. Dekomposisi Makalah

2. PRE-PROCESSING

Tahap *preprocessing* merupakan tahap awal dari proses segmentasi pembuluh darah. Tahap ini tidak dapat diremehkan karena bagus tidaknya suatu proses segmentasi bergantung pada hasil *preprocessing* ini. Tahap *preprocessing* ini bertujuan untuk menghasilkan suatu citra yang baik dan siap untuk dilakukan proses segmentasi. Sehingga tahap

preprocessing yang baik dapat mempermudah proses segmentasi dan secara tidak langsung dapat menunjang hasil segmentasi yang lebih baik.

Pada dasarnya, citra fundus retina mata yang digunakan pada tahap *preprocessing* di bawah ini bermacam-macam. Selain citra fundus RGB, acap kali digunakan citra fundus *green channel* dalam tahap *preprocessing*. Terdapat citra fundus *green channel* yang merupakan citra fundus hasil pengekstrakan suatu komponen *green* dari citra fundus RGB. Beberapa penelitian, ada juga yang menggunakan *inverted green channel* [7] dalam tahap awal *preprocessing*-nya.

Tahap *preprocessing* dapat juga dikelompokkan menjadi tiga bagian, yakni penghapusan fitur-fitur lain dalam citra fundus retina mata selain pembuluh darah, penyeragaman tingkat pencahayaan dan peningkatan kontras. Pada Tabel 1, teknik peningkatan kontras paling banyak dilakukan dalam beberapa referensi yang dipakai. Selanjutnya diikuti tahap *preprocessing* penyeragaman tingkat pencahayaan dan penghapusan komponen selain pembuluh.

2.1 Penghapusan komponen selain pembuluh darah.

Fitur-fitur lain yang dihilangkan dapat berupa *optic disc* dan *exudate*. Dalam penelitian Sumeet Dua et al [8] terdapat tiga langkah *preprocessing*. Pertama adalah mengidentifikasi piksel yang sesuai dengan *exudate*, daerah yang signifikan untuk tujuan diagnosis, dan *optic disc* dengan menggunakan pemetaan nilai-nilai piksel intensitas rendah ke intensitas tinggi [9]. Kedua adalah menggantikan *exudate* yang telah diidentifikasi dan piksel *optic disc* dengan rata-rata nilai intensitas citra yang akan membantu pemfilteran untuk menanggulangi kesalahan pendeteksian selama proses ekstraksi pembuluh. Ketiga adalah proses *smoothing* dan *enhancement* dari citra. *Smoothing* bertujuan pada penghapusan *noise* dan membantu mengeliminasi kesalahan dalam pendeteksian dan penajaman intensitas pembuluh darah pada citra sehingga ujung-ujung pembuluh yang tidak jelas dapat terdeteksi sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi visual dari *hemorrhage*. Penelitian ini memerlukan suatu *threshold* untuk membantu pengidentifikasian piksel-piksel yang termasuk *optic disc*, *exudates* dan bagian-bagian lain yang tidak diperlukan dalam proses segmentasi pembuluh darah.

Preprocessing pada penelitian Marwan D.Saleh et al [10] meliputi penghapusan *optic disc* [11] dan penghapusan *background*. Dalam penghapusan *optic disc* dapat dtgunakan sobel operator edge detection [11] median filter dan morfologi top-hat serta *contrast stretching* [10]. Dua metode terakhir dapat juga digunakan untuk

meningkatkan kontras citra hasil median filter. Selanjutnya citra tersebut dilakukan suatu *thresholding* untuk menghasilkan sebuah citra biner. Langkah terakhir dari *preprocessing* ini adalah pendeteksian lokasi *optic disc* dengan menggunakan morfologi *opening* dan *closing*. Setelah penghapusan

optic disc, proses *preprocessing* berikutnya dari penelitian ini adalah penghapusan *background*. Penghapusan *background* ini menggunakan morfologi *top-bottom-hat* untuk meningkatkan kontras dari citra [10].

Tabel 1. Daftar Referensi Pre-Processing

Preprocessing		
Penghapusan komponen selain pembuluh darah	Penyeragaman tingkat pencahayaan	Peningkatan Kontras
Sumeet Dua et al [8]	J. Ng et al [12]	Diego Marin et al [17]
Haniza Yazid et al [9]	Marios Vlachos et al [13]	Daniel Welfer et al [20]
Marwan D. Saleh et al [10]	Sumeet Dua et al [8]	Doaa Youssef et al [25]
Cemal Kose et al [11]	Akara Sopharak et al [16]	M.M.Fraz et al [26]
	Thomas Walter et al [14]	S.Jimenez et al [27]
	Diego Marin et al [17]	Qin Li et al [28]
	D.J.Cornforth et al [18]	Y.Yang et al [29]
	D.J.J. Farnell [19]	M.S.Miri et al [30]
	Daniel Welfer et al [20]	Balint Antal et al [31]
	A.M. Aibinu et al [15]	M.Usman Akram et al [32]
	Keerthi Ram et al [16]	M.Usman Akram et al [33]
	Sandip Pradhan et al [22]	Deepika Vallabha et al [34]
	B.Dupas et al [23]	Wong Li Yun et al [35]
	Saurabh Garg et al [24]	S.You et al [36]
		Girish Singh Ramlugun et al [37]
		M.H.Ahmad Fadzil et al [39]
		Akara Sopharak et al [16]
		A.M. Aibinu et al [15]
		Sandip Pradhan et al [22]
Jumlah = 4	Jumlah = 14	Jumlah =19

2.2 Penyeragaman tingkat pencahayaan

Penyeragaman tingkat pencahayaan atau perbaikan tingkat pencahayaan yang tidak seragam dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain penggunaan turunan kedua Gaussian Filter pada citra dalam beberapa tingkat, dan keluaran filter ini digunakan untuk menyimpulkan adanya sifat pembuluh darah [12]. Selain itu Median Filter digunakan untuk citra yang mengandung multi-percabangan sehingga keluaran dari Median Filter adalah mengurangi atau menghilangkan noise percabangan citra pembuluh darah [13]. Metode lain dapat diterapkannya Mean filter serta modifikasi *quotient based approach* yang seringkali digunakan untuk citra wajah.

Preprocessing lain dalam tahap ini dapat terlihat pada penelitian Sumeet Dua et al [8] dengan mengubah citra fundus retina mata RGB menjadi citra *grayscale*. Salah satu cara melakukan transformasi *gray level* ini dapat menggunakan *polynomial contrast enhancement operator* [14], yang mana menandai setiap piksel pada *gray level* yang baru secara terpisah dari distribusi daerah tetangganya. Penelitian A.M. Aibinu et al dan Akara Sopharak et al [15,16], menjelaskan proses *preprocessing* yang digunakan adalah *Color space conversion*, yakni merubah citra RGB fundus retina mata menjadi bentuk HSI color space. Langkah *preprocessing* ini hanya dapat dilakukan ketika citra masukan bukan merupakan citra *grayscale*.

Salah satu penyebab perbedaan tingkat pencahayaan pada citra fundus retina adalah adanya

noise. *Noise* tersebut akan mengganggu proses segmentasi jika tidak dihilangkan atau direduksi. Pada penelitian Diego Marin et al [17], Mean filter dan Gaussian kernel [14] dapat digunakan secara bergantian untuk mereduksi dan memperhalus *salt-and-pepper noise*. Mean filter juga dapat dijadikan metode *preprocessing* pada penelitian D.J. Cornforth et al dan D.J.J. Farnell [18,19]. Gaussian lowpass filter [20] yang serupa dengan gaussian kernel [14]. Median filter dapat digunakan sama halnya mean filter, yakni untuk mereduksi *noise* seperti yang tertera pada penelitian A.M. Aibinu et al dan D.J.J. Farnell [15,19]. Selain itu median filter juga dapat digunakan untuk mengestimasi *background* dari citra fundus retina [21]. *Background* tersebut akan digunakan sebagai pengurang dari citra fundus retina *green channel* untuk mendapatkan *shade corrected image* [14,22,23]. Pada penelitian Saurabh Garg et al [24], dilakukan suatu adopsi dari modifikasi *quotient based approach* yang seringkali digunakan untuk citra wajah untuk diterapkan pada tahap penyeragaman tingkat pencahayaan.

2.3 Peningkatan kontras

Peningkatan kontras pada citra fundus retina ditujukan untuk mempermudah suatu proses segmentasi pembuluh darah. Keluaran yang diharapkan dari proses peningkatan kontras ini adalah penonjolan jaringan pembuluh darah pada citra fundus retina.

Peningkatan kontras dapat dilakukan dengan menerapkan berbagai metode, antara lain morfologi transformasi Top-Hat dengan citra greyscale atau warna, teknik peningkatan kontras oleh Walter dan Klein hanya untuk citra greyscale, *histogram equalization* ditujukan untuk meningkatkan *range* dinamis dari histogram dari sebuah citra dan pengembangannya serta peningkatan kontras yang tidak seragam yaitu *adaptive histogram equalization* menggunakan *Contrast Limited Adaptive Histogram*.

Morfologi transformasi Top-Hat juga dapat digunakan untuk peningkatan kontras pembuluh darah [17,20,25,26,27]. Salah satu kelemahan dari metode Top-Hat adalah ketidakmampuan dalam melakukan segmentasi pembuluh darah yang kecil dan tipis [28]. Pada penelitian Yang et al [29] sebuah *automatic hybrid method* yang terdiri dari kombinasi morfologi matematika [30] dan algoritma clustering Fuzzy yaitu meningkatkan citra pembuluh darah dan background akan dihapus dengan morfologi top-hat selanjutnya citra pembuluh darah akan diambil oleh pengelompokan Fuzzy.

Teknik peningkatan kontras oleh Walter dan Klein menghasilkan citra *grayscale* dengan *background* yang lebih halus dan menekankan bagian-bagian tertentu [31]. Morfologi *opening* digunakan dalam morfologi transformasi untuk

menghasilkan sebuah citra yang menonjolkan pada daerah yang terang [17,26]. Selanjutnya dilakukan operasi *closing* dan menghasilkan sebuah citra yang menonjolkan pada daerah gelap. Pengurangan dua hasil dari morfologi tersebut akan menghasilkan citra yang telah mengalami peningkatan kontras [25].

Gabor wavelet digunakan untuk meningkatkan pola pembuluh yang tipis dan kurang terlihat. Selanjutnya dapat juga ditambahkan metode penajaman citra untuk lebih menajamkan citra yang mengandung pembuluh darah tersebut. Hal ini dikarenakan citra hasil dari penggunaan Gabor wavelet ini memiliki sedikit blur sehingga dapat menggunakan *unsharp filter* untuk menajamkan tepi pembuluh. Sehingga pembuluh dapat lebih terlihat jelas dan lebih menonjol dibandingkan citra aslinya [32]. Gabor filter bank dapat juga digunakan untuk menganalisa citra pada orientasi dan skala yang berbeda. Citra masukan dikonvolusikan dengan Gabor filter bank yang terdiri dari beberapa filter yang telah diatur ke orientasi dan skala tertentu. Proses *filtering* ini dilakukan pada domain Fourier [33,34].

Peningkatan kontras menggunakan *histogram equalization* ditujukan untuk meningkatkan *range* dinamis dari histogram dari sebuah citra. Hal itu akan menandai nilai intensitas dari piksel dalam citra masukan citra sehingga citra keluaran mengandung distribusi *uniform* dari intensitas citra yang ada [35].

Peningkatan kontras yang lain dapat dilakukan dengan *adaptive histogram equalization* [36] menggunakan *Contrast Limited Adaptive Histogram*. Pada metode ini, citra dibagi menjadi 8x8 bagian dan *histogram equalization* diterapkan secara lokal pada setiap bagian dari citra [37]. Metode ini sangat efektif dalam menekankan nilai-nilai lokal yang menonjol dari sebuah citra. Namun, metode ini juga menghasilkan *noise* yang dapat mengganggu proses berikutnya [31].

Metode *preprocessing* yang lain adalah *illumination equalization* yang mana menggunakan algoritma *global-local adaptive histogram equalization with partially overlapped windows* (GLAPOW) [15]. Metode ini merupakan pengembangan dari teknik *histogram equalization* dan mempunyai kinerja yang bagus dalam tahap *preprocessing*. Metode peningkatan kontras yang juga mengadopsi teknik histogram adalah Gray Level Grouping [22]. Metode ini memiliki kesamaan dari teknik *histogram equalization* tetapi berbeda dari segi pengelompokan *gray level*-nya berdasarkan jumlah frekuensi kemunculannya.

Salah satu metode untuk peningkatan kontras yang lain adalah *non-uniform enhancement*. Peningkatan kontras *non-uniform enhancement* ini memiliki kinerja yang lebih tinggi dibandingkan *uniform enhancement* [38]. Metode ini merupakan

pengembangan dari metode ekualisasi yang sederhana.

Pada penelitian M.H.Ahmad Fadzil et al [39], proses *preprocessing* yang digunakan meliputi *mean filter* 3x3 untuk mereduksi *noise* yang ada, kemudian dilanjutkan dengan Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) yang digunakan untuk meningkatkan kontras citra. Metode ini membagi citra menjadi beberapa bagian dan dilakukan *histogram equalization*. Selanjutnya diikuti dengan pengekstraksian pembuluh darah dari *background*-nya dengan menggunakan filter morfologis Bottom-hat. Morfologi Bottom-hat ini menggunakan morfologi *closing* dari citra masukan dengan menggunakan sebuah *structuring element* kemudian dilakukan pengurangan citra resultan dengan citra masukan. Pengurangan *noise* dengan *averaging filter* dilakukan untuk mengeliminasi *artifacts* yang dihasilkan oleh CLAHE pada *background* setelah penerapan Bottom-hat. Untuk meningkatkan kontras, dilakukannya suatu *contrast stretching* pada citra hasil dari morfologi Bottom-hat [39]. Teknik yang serupa juga dimunculkan oleh Akara Sopharak et al [16]. Perpaduan median filter dan CLAHE digunakan sebagai *preprocessing* [16].

Metode-metode *preprocessing* di atas dapat digunakan sebagai salah satu pilihan dalam proses segmentasi yang akan dikerjakan berikutnya. Dari segi pengamatan penulis, metode segmentasi yang kemungkinan cocok diterapkan dalam penelitian sejenis adalah teknik berdasarkan histogram. Metode ini seringkali digunakan karena kesederhanaannya dalam peningkatan kontras dalam sebuah citra. Namun, teknik histogram yang hendaknya digunakan merupakan pengembangan teknik *histogram equalization* secara konvensional. GLAPOW dan *non-uniform enhancement* juga merupakan teknik-teknik *preprocessing* yang juga disarankan untuk digunakan dalam penelitian terkait. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) juga merupakan salah satu metode *preprocessing* yang disarankan. Namun dalam penerapan metode ini, diperlukan suatu teknik pengurangan *noise* untuk mengeliminasi kelemahan yang dihasilkan oleh metode CLAHE ini. Mean filter, median filter dan gaussian kernel dapat digunakan bergantian untuk mereduksi *noise* yang ada. *Preprocessing* dalam penelitian M.H.Ahmad Fadzil et al [39] dapat juga dijadikan salah satu alternatif dalam penelitian tentang segmentasi pembuluh darah yang lain.

3. SEGMENTASI

Proses segmentasi merupakan proses inti dalam pendeteksian pembuluh darah pada citra

fundus retina mata. Dalam proses ini, akan terdeteksi pembuluh darah pada citra fundus retina mata. Pembuluh darah yang terdeteksi dalam proses segmentasi ini dapat digunakan untuk penelitian yang lebih lanjut lain. Metode segmentasi yang dibahas dalam makalah ini terbagi menjadi tiga bagian besar, yakni *image based*, *pattern recognition based* dan *vessel tracking/tracing*. Pada Tabel 2, terlihat penelitian segmentasi pembuluh darah memakai teknik *image based* banyak diulas oleh para peneliti. Hal ini dapat terlihat dengan jumlah penelitian menggunakan teknik *image based* mengungguli teknik-teknik segmentasi yang lain.

3.1 Image based

Metode segmentasi yang tergolong ke dalam kelompok ini merupakan metode yang berdasarkan operasi-operasi dalam pengolahan citra digital. Dalam teknik ini, data awal yang dipergunakan adalah citra. Hal ini yang membedakan dengan teknik pengenalan pola yang memerlukan proses transformasi citra masukan yang dipergunakan menjadi sebuah nilai atau fitur. Kelompok ini dapat terpecah menjadi dua bagian besar, yakni *edge/boundary based* dan *region based* atau *region growing*.

3.1.1 Edge/boundary based

Teknik segmentasi yang tergolong dalam kelompok ini berfokus pada tepi/boundary dari sebuah citra. *Edge/boundary based* terbagi menjadi dua bagian, yakni *filtering* dan morfologi.

3.1.1.1 Filtering

Metode segmentasi juga dapat dikelompokkan dalam grup *filtering* yang mana dalam grup ini metode segmentasi yang digunakan memanfaatkan filter-filter yang tersedia. Grup *filtering* ini merupakan grup yang berisi teknik segmentasi terbanyak dalam daftar referensi pada Tabel 2. Salah satu alasan peneliti menggunakan teknik ini adalah tingkat kompleksitas yang rendah dalam pengimplementasiannya. Sehingga teknik ini tidak membutuhkan waktu yang sangat lama dalam proses segmentasinya

Edge detection atau sering dikenal dengan proses pendeteksian tepi pembuluh dari citra juga merupakan salah satu metode segmentasi pembuluh darah [32], proses *Canny edge detector* [32] menggunakan operator canny dengan mengoptimasi tiga kriteria: kriteria deteksi, kriteria lokalisasi, dan mengeliminasi *multiple response*.

Tabel 2. Daftar Referensi Segmentasi

Image based		Segmentasi			Pattern Recognition		Vessel tracking/tracing	
Edge/boundary based		Region based/region growing			Klasifikasi		Dekomposisi tree	
Filtering	Morfologi	Ekstraksi Fitur	Klasifikasi	Klasterisasi	Dekomposisi tree	Vessel tracking/tracing		
M.Usman Akram et al [32]	Doaa Youssef et al [25]	Diego Marin et al [17]	Diego Marin et al [17]	A.M.Aibinu et al [15]	Sumeet Dua et al [8]	S.You et al [36]		
Doaa Youssef et al [25]	M.H.Ahmad Fadzil [39]	Abdolhossein Fathi et al [7]	D.J.Cornforth et al [18]	G.B.Kande et al [51]		Sandip Pradhan et al [22]		
J.Jan et al [40]		D.J.Cornforth et al [18]	Yi Yin et al [50]	Changhua Wu et al [49]		Changhua Wu et al [49]		
Kanika Verma et al [41]		Chunghua Wu et al [49]	Chunghua Wu et al [49]			Marios Vlachos [13]		
B.Raman et al [42]								
Deepika Vallabha et al [34]								
Mohammed Al-Rawi et al [43]								
Changhua Wu et al [44]								
C.Yao et al [45]								
Qin Li et al [28]								
Bob Zhang et al [46]								
Abdolhossein Fathi et al [7]								
R.Vidyasari et al [47]								
Keerthi Ram et al [21]								
D.J.J Farnell et al [19]								
S.You et al [36]								
Gunnar Lathen et al [48]								
Jumlah = 17	Jumlah = 1	Jumlah = 4	Jumlah = 4	Jumlah = 3	Jumlah = 1	Jumlah = 4	Jumlah = 4	

Algoritma Snake diadopsi pada penelitian [25]. Algoritma ini mendeteksi kontur dengan menggunakan kontur terdekat yang telah diinisialisasi

sebelumnya. Selanjutnya mempertimbangkan semua tetangga dari titik tersebut pada kontur energi yang lebih besar dari *threshold*.

Hal ini yang memungkinkan untuk mendapatkan tidak hanya kontur yang menonjol tetapi juga obyek-obyek yang sempit dalam citra. Sedangkan untuk menggantikan titik pada kontur yang memiliki nilai yang lebih besar dari sebagian kecil nilai maksimum tepi pada citra, dimana nilai-nilai pada tepi dihitung oleh operator Sobel. *Edge detection* merupakan salah satu teknik yang sederhana dan seringkali digunakan dalam segmentasi pembuluh. Namun teknik ini masih diragukan dalam menghasilkan segmentasi pembuluh yang baik. Hal ini dikarenakan *noise* yang masih terdeteksi dalam teknik *edge detection* ini.

2D *Matched filter* telah dikenalkan oleh J.Jan et al [40]. *Matched filter* ini memiliki kesamaan dengan teknik *matched filter* lain yang serupa atau *template matching* [41] yakni mengevaluasi korelasi antara area citra lokal yang potensial dan yang mengandung bagian pembuluh darah sedangkan 2D *matched filter masks* digunakan dalam mensegmentasi pembuluh darah. Umumnya *mask* dibentuk dari tingkat kecerahan dari pembuluh darah yang terpilih secara manual.

Gaussian-matched filter [42] digunakan untuk mengetahui letak *center* dan lebar dari pembuluh. Kemudian dilanjutkan dengan Kalman filter digunakan untuk mengestimasi lokasi dari bagian pembuluh berikutnya berdasarkan model percabangan pembuluh yang telah diamati sebelumnya [34]. Pada mulanya, *matched filter* memiliki tiga parameter penting yang digunakan dalam penerapannya. Peningkatan kinerja dari *matched filter* dilakukan dengan menemukan parameter terbaik dari *matched filter* [43]. Sehingga parameter tersebut dapat digunakan dengan baik ketika menghasilkan proses *thresholding* yang terbaik dan menghasilkan metode segmentasi yang lebih baik. Salah satu teknik *thresholding* yang baik adalah seperti pada penelitian Kanika Verma et al [41] yang menggunakan *perception based binerisation* yang merupakan suatu metode pendeteksian biner yang baru.

Proses *smoothing* pada pembuluh sepanjang arah utama menggunakan *non-linear diffusion filter*. Teknik difusi ini mampu menghaluskan gambar tanpa mengaburkan *boundary* pembuluh [44]. Dilanjutkan dengan penerapan *compound vessel enhancement filter*. *Compound enhancement filter* ini menggabungkan keuntungan-keuntungan dari filter berbasis Hessian, *matched filter* dan *edge information* [44]. Dalam *compound filter*, *eigenvalue*

dan *eigenvector* dihitung dari matriks Hessian di berbagai skala. Respon filter sebagian bergantung pada rasio antara *eigenvalue* yang terkecil dan terbesar. *Eigenvector* menentukan arah dimana *matched filter* diterapkan. Dengan demikian, hanya terdapat satu *matched filter* untuk diterapkan pada setiap skala. Hal ini berbeda dengan *matched filter* lain yang memerlukan aplikasi *multiple filter per filter*. Al-Rawi et al [43] mengembangkan *matched filter* dengan menggunakan prosedur optimasi pencarian lengkap pada 20 citra retina dari database DRIVE untuk menemukan parameter terbaik pada ukuran *matched filter*. C.Yao et al [45] menggunakan 2-D Gaussian *matched filter* untuk peningkatan citra pembuluh darah pada retina dengan penyederhanaan *neural network* oleh penentuan *neighborhood neurons*.

Teknik *matched-filter* ini seringkali digunakan dalam proses segmentasi pembuluh darah. Selain sederhana, teknik ini memiliki kelebihan dalam pengurangan *noise* yang merupakan salah satu kelemahan dari teknik *edge detection* secara konvensional.

Multi-scale Production of Matched Filter (MPMF) digunakan oleh Qin Li et al dan Bob Zhang et al [28,46] untuk mensegmentasi pembuluh darah. MPMF merupakan pengembangan dari *matched filter*. Metode ini menggunakan *cross-section* dari pembuluh yang diperoleh dari *Gaussian function*, yang mana biasanya digunakan untuk mendekomposisi citra retina [7]. Oleh karena itu, Gaussian-shaped filter dapat digunakan untuk mencocokkan pembuluh darah. Dikatakan *multi scale* karena dalam pencocokan pembuluh dengan metode ini menggunakan beberapa skala. Selanjutnya dilakukan *double thresholding* untuk menghasilkan suatu citra biner dan ditambahkan dengan morfologi *thinning* untuk menipiskan pembuluh darah yang terdeteksi pada citra fundus retina mata.

Filter garis satu dimensi yang didapat dari konvolusi gaussian dapat diperpanjang dengan filter baris multidimensi menggunakan matriks Hessian, yang menggambarkan struktur orde kedua dari variasi intensitas lokal di sekitar setiap titik dari citra multi-dimensi. Ukuran pembuluh diperoleh berdasarkan semua *eigenvalue* dari Hessian [47]. Matriks Hessian dikomputasikan pada piksel pembuluh dan dilakukan *Gaussian smoothing* pada 9×9 mask dan 3×3 Prewitt mask. *Eigen vector* yang diperoleh dinormalisasi dan ketetapan 5×5 -nya dipertimbangkan untuk mendapatkan orientasi histogramnya. Selanjutnya menghitung Entropi penyebaran dengan radius 12 piksel dan menggunakan setengah dari nilai maksimumnya sebagai *threshold* dalam mendapatkan *landmark*

pembuluh darah. Algoritma ini mendeteksi setiap persimpangan dari pembuluh darah. Algoritma ini juga mampu diterapkan pada citra fundus yang mempunyai *blur* yang tinggi dan kontras yang rendah. Penerapan metode *retinex* diharapkan dapat meningkatkan kekontrasan citra retina untuk meningkatkan akurasi dari lokalisasi dari *landmark* sehingga dapat meningkatkan jumlah persimpangan yang terdeteksi [21].

Multiscale line operator (MSLO) merupakan salah satu metode untuk segmentasi pembuluh darah pada citra fundus retina mata. *Line operator* diterapkan pada berbagai level skala dengan membangun suatu rangkaian citra pada skala yang lebih panjang dan berurutan dengan *Gaussian sampling* yang diimplementasikan pada baris citra retina asli. Kemudian sebuah *threshold* diimplementasikan dalam citra untuk membentuk sebuah segmentasi biner dari pembuluh darah. Selanjutnya diikuti oleh penerapan teknik *region growing* sederhana yang bertujuan untuk mereduksi jumlah *noise* yang tertera pada hasil segmentasi tersebut. Metode MSLO ini dapat menghasilkan suatu segmentasi pembuluh darah yang lebih baik dibandingkan dengan segmentasi menggunakan *thresholding* biasa [19].

Frangi filter [36] dapat digunakan untuk meningkatkan pembuluh darah pada retina dan mengestimasi radius pembuluh. Intensitas dari citra masukan pertama kali diberikan sebuah isotropic Gaussian kernel pada *multiple scales*. Frangi filter ini kemudian menganalisa *eigenvalue* dari matriks Hessian dari intensitas setiap citra yang diperoleh dari *Gaussian smoother*. Dalam citra retina, beberapa percabangan pembuluh yang sangat dekat, setelah di-filter dengan Frangi filter akan digabung menjadi satu pembuluh. Oleh karena itu dilakukan pembatasan penerapan Frangi filter pada citra hasil preprocessing hanya pada *boundary* pembuluh.

Multi-scale quadrature filtering juga merupakan salah satu metode segmentasi dengan menggunakan teknik *filtering*. Pada dasarnya metode ini menerapkan proses *edge detection* secara berulang sehingga mendapatkan suatu tepi yang memuaskan. Metode ini juga bergantung pada pemilihan parameter-parameter dan penggunaan 4-direction yang menunjang proses pembentukan sebuah filter. Metode ini juga menggunakan optimasi energi dengan memanfaatkan persamaan Euler-Lagrange dan model level set untuk segmentasinya [48]. Metode ini mampu menghasilkan suatu proses segmentasi yang *robust* dalam kondisi *boundary leakage*. Selain itu metode ini dapat digunakan

dengan mudah dan mempunyai tingkat kompleksitas komputasi yang rendah.

Dari grup *filtering*, *multi-scale quadrature filtering* merupakan salah satu metode yang disarankan untuk proses segmentasi. Selain metode ini *Gaussian matched-filter* juga merupakan salah satu metode lain yang disarankan untuk digunakan dalam teknik segmentasi. Dua metode ini cukup sederhana dalam diterapkan dan memiliki hasil segmentasi yang baik.

3.1.1.2 Morfologi

Salah satu cara lain untuk segmentasi pembuluh darah adalah dengan melakukan operasi morfologi *closing* pada citra dengan dua garis *structuring elements* dari ukuran yang berbeda [25]. Proses *closing* dengan elemen yang lebih besar akan membuat pembuluh menjadi tidak nampak. Sehingga pengurangan dua citra hasil operasi *closing* akan menghasilkan pembuluh darah menjadi lebih terang dan *background*-nya menjadi lebih gelap dengan tingkat kontras yang lebih tinggi dari citra asli.

3.1.2 Region based/region growing

Proses segmentasi pembuluh juga dapat diawali dengan teknik *region growing* untuk memulai proses rekonstruksi dari pembuluh darah pada citra fundus retina mata. Seperti pada penelitian M.H.Ahmad Fadzil et al [39], *region growing* dilakukan untuk membentuk suatu proses segmentasi yang baik dari *background* yang ber-*noise*. Umumnya, metode *region growing* memerlukan suatu *seed point*. Piksel yang dijadikan *seed point* merupakan piksel-piksel citra *vessel centerline*, piksel-piksel tersebut dibandingkan dengan 8 tetangga piksel sekitarnya. Selanjutnya ditambahkan suatu *threshold* dalam penentuan piksel-piksel lain yang termasuk pembuluh darah [26]. Metode *gradient-based region growing (GRG)* ditujukan untuk meningkatkan akurasi dari rekonstruksi pembuluh darah. Dalam GRG ini, citra dengan pembuluh yang terekstraksi dikonvolusikan dengan *first-order Gaussian derivative kernel*. Selanjutnya dilakukan proses *thinning* dan penghapusan *end point* dari citra yang direkonstruksi, dilanjutkan dengan pengurangan citra hasil penghapusan *end point* dengan citra hasil proses *thinning*. Kemudian diakhiri dengan pemilihan titik di sekitar *perifoveal capillaries network* dan saling menghubungkannya untuk membangun sebuah *perimeter* dari Foveal Avascular Zone.

Salah satu segmentasi lain dengan menggunakan teknik ini adalah dengan mengasumsikan pembuluh sebagai *trench*. *Trench* adalah daerah yang ditandai mempunyai tingkat kelengkungan tinggi, berorientasi pada suatu arah

tertentu. Kelengkungan pada titik apapun adalah sebuah ukuran dari tikungan di permukaan sepanjang arah tertentu. Untuk menentukan kelengkungan ini pada setiap titik dalam citra, digunakan sebuah langkah alternatif untuk mengukur kelengkungan permukaan citra [24]. Segmentasi pembuluh darah dilakukan dengan skema *modified region growing*. Karena *region of interest*nya adalah sebuah pembuluh, *domain knowledge* dapat dimanfaatkan untuk membatasi pertumbuhan dari *region*. *Medial point* dideteksi dengan algoritma pendeteksian *trench* sebagai *seed point*. *Region* berkembang hanya pada sekitar tetangga yang terpilih sebagai *seed point*, yang mana ukurannya ditentukan berdasar pada lebar dari pembuluh terbesar yang tersedia dalam citra. *Region* berkembang berdasarkan pada konektivitas dari piksel uji dengan piksel pembuluh dan nilai intensitas yang telah dideklarasikan sebelumnya.

Threshold Probing [33] adalah metode untuk menentukan lokasi dari atribut pembuluh lokal dengan atribut-atribut berbasis *region* dari struktur jaringan pembuluh darah. Sebagian jaringan pembuluh darah diasumsikan dengan menggunakan sebuah area dari citra yang telah ditingkatkan kontrasannya menggunakan wavelet tersebut, yang mana *threshold* yang digunakan akan diturunkan secara iteratif. Selanjutnya dihitung histogram dari citra retina yang telah dilakukan *enhancement*. Teknik *thresholding* adaptif dapat juga digunakan untuk memilih titik-titik yang memisahkan pembuluh dari bagian citra yang lain. Akurasi yang tinggi didapatkan dari metode ini. Namun, salah satu kelemahan dari metode ini adalah komputasi tinggi yang didapatkan dari metode ini. Sehingga memerlukan waktu yang lama untuk pengeksekusiannya.

3.2 Pattern recognition based

Teknik pengenalan pola dapat juga diterapkan pada pengolahan citra. Beberapa teknik klasifikasi, klusterisasi dan dekomposisi yang tertera pada pembahasan makalah ini diterapkan untuk mensegmentasi pembuluh darah pada citra fundus retina mata.

3.2.1 Ekstraksi Fitur

Proses segmentasi dengan teknik klasifikasi memerlukan ekstraksi fitur. Hal ini diperlukan untuk pengefisienan proses segmentasi yang dilakukan. Tidak semua piksel dalam citra yang dilakukan proses segmentasi melainkan hanya fitur-fitur tertentu dalam sebuah citra. Pada makalah ini, proses ekstraksi fitur dilakukan dengan metode, antara lain Gray-level-based feature, Moment invariants-based feature, Morlet Wavelet dan Gaussian serta pengambilan *mean* dan *covarian* dari kumpulan

model distribusi dari matriks Hessian dan Gaussian kernel.

Gray-level-based feature dilakukan untuk ekstraksi fitur pada penelitian Diego Marin et al [17]. Fitur ini berdasar pada perbedaan skala keabuan pada piksel kandidat dengan representasi nilai statistik piksel-piksel sekitarnya. Alasan penggunaan ekstraksi fitur karena pembuluh darah sering kali lebih gelap dibandingkan piksel-piksel tetangganya. sehingga menggunakan bantuan konsep ketetanggaan dari 81 piksel tetangga (9x9) untuk mengekstraksi fitur dengan metode ini [17].

Moment invariants-based feature dilakukan dengan menghitung moment invariant berdasarkan 289 piksel tetangga (17x17) sekitarnya. Metode ini dapat juga dikombinasikan dengan metode *gray-level-based feature* untuk melakukan proses ekstraksi fitur yang handal [17].

Morlet Wavelet dan Gaussian kernel digunakan untuk mengekstraksi fitur dari citra fundus retina [7,18]. Metode ini membuat suatu adaptive *local threshold* [18] yang mana dilanjutkan dengan *nonparametric discriminant analysis* serta transformasi normal untuk memperoleh variabel random yang baru. Variabel random ini yang akan menjadi fitur dalam proses ekstraksi fitur.

Proses ekstraksi fitur berikutnya adalah mengambil *mean* dan *covarian* dari kumpulan model distribusi. Kumpulan model distribusi ini didapat dari pengukuran radius pembuluh dengan menggunakan maksimum *eigenvalue* dari matriks Hessian dan Gaussian kernel. Kedua metode itu dapat juga digunakan untuk *smoothing* dan untuk menemukan *ridge* dari *multiple scale* [49].

3.2.2 Klasifikasi

Proses segmentasi ini berdasarkan keberadaan *ground truth* dari setiap proses segmentasi. Segmentasi dengan menggunakan metode klasifikasi memerlukan data *ground truth* yang banyak, sehingga dapat menghasilkan hasil segmentasi yang diharapkan. Selain itu dalam proses segmentasi ini dibutuhkan suatu *ground truth* yang benar dan berasal dari pakarnya. Hal ini juga menyulitkan kita dalam mencari *ground truth* yang dapat diandalkan. Dikarenakan seringkali terjadi perbedaan pendapat antar pakar dalam penentuan *ground truth*.

Proses segmentasi menggunakan teknik klasifikasi dapat dilakukan dengan berbagai metode, tiga metode yang dibahas dalam penelitian ini adalah *Neural Network*, *Bayessian Classifier*, dan *Thresholding*.

Neural Network merupakan salah satu dari metode klasifikasi yang paling populer di setiap penelitian. Banyaknya variasi dari *Neural Network* membuat metode ini digemari dalam melakukan

berbagai penyelesaian kasus segmentasi. Pada penelitian Diego Marin et al [17], jenis *Neural Network* yang digunakan adalah Multi Layer Perceptron dengan 7 neuron input, 3 hidden layer dengan masing-masing 15 neuron dan 1 neuron output. Namun, desain dan variasi yang diberikan tidak menyatakan bahwa pengaturan desain dan variabel seperti ini merupakan yang terbaik dari proses segmentasi dari pembuluh darah pada citra fundus retina mata.

Bayessian Classifier juga merupakan salah satu metode klasifikasi yang populer selain *Neural Network*. *Bayessian Classifier* ini juga mempunyai banyak variasi dan pengembangan untuk berbagai tujuan.

Klasifikasi Bayessian [18,50] diawali dengan mendapatkan *training set* dengan menyediakan beberapa citra yang telah sukses tersegmentasi oleh pakar dan menggunakan *random sub-set* dari pikselnya untuk melatih *classifier*-nya. Hanya bagian kecil (*window*) dari citra sampel yang tersegmentasi manual. Piksel yang terlabeli digunakan untuk melatih *classifier* yang mana akan diterapkan untuk segmentasi citra yang sama. Strategi ini dapat dikembangkan menjadi *software* segmentasi fundus semi otomatis, yang mana operator hanya menggambar sebagian kecil dari pembuluh atau memilih bagian kecil dari citra sebagai pembuluh. Selanjutnya sistem ini akan mensegmentasi piksel-piksel yang lain berdasarkan sebagian *training set* yang telah ditentukan.

Metode *Thresholding* (pengambilan batas) pada makalah ini tergolong dalam metode segmentasi dengan teknik klasifikasi karena dalam proses *thresholding* ini terdapat suatu pembuatan *classifier*-nya menggunakan pelatihan terlebih dahulu. Metode *Thresholding* (pengambilan batas) pada penelitian Chunghua Wu et al [49] yaitu segmentasi berdasarkan hasil maksimum dari Gaussian kernel dari *multiple scale*, jika hasil maksimumnya positif maka piksel menjadi sebuah kandidat piksel *ridge*. Hal ini dapat dilakukan dengan catatan dalam citra retina, pembuluh darah lebih gelap dibandingkan *background*. Selanjutnya untuk setiap piksel, *ridge descriptor* diterapkan pada kandidat *ridge*. Kendalanya dalam metode ini adalah ketika menemui pembuluh darah kecil yang sering kali dideteksi sebagai *noise*, diperlukan *ridge descriptor* khusus untuk menanganinya. Dengan menggunakan nilai ambang yang ditentukan, semua kandidat yang mempunyai piksel lebih dari t akan ditandai sebagai piksel pembuluh.

Neural Network dengan menggunakan Multiple Layer Perceptron seringkali dapat mengungguli dua metode klasifikasi lain dalam proses klasifikasi. Oleh karena itu, Multiple Layer Perceptron dapat disarankan menjadi salah satu

alternatif dalam proses segmentasi pembuluh darah pada citra fundus retina mata.

Kelemahan utama dari proses segmentasi dengan metode klasifikasi adalah dibutuhkan data yang benar-benar valid, terutama yang berasal dari pakarnya. Kesulitan dalam pencarian data dan asumsi para pakar yang sering berbeda antara pakar yang satu dengan yang lain inilah yang melandasi para peneliti untuk lebih tertarik ke metode segmentasi dengan teknik-teknik selain klasifikasi pembuluh darah.

3.2.3 Klasterisasi

Seperti halnya dengan segmentasi pembuluh darah dengan klasterisasi berbasis pendekatan Fuzzy, pada penelitian Kande et al [51] menggunakan informasi intensitas dari saluran merah dan hijau pada citra retina yang sama untuk memperbaiki pencahayaan *non-uniform* dalam warna fundus gambar. *Matched filter* cocok meningkatkan kontras citra pembuluh darah dengan background-nya. Pada akhirnya Fuzzy C-Mean terhubung dalam identifikasi struktur pohon vascular. Keluaran akhir dari filter ini adalah *maximal response* pada berbagai skala [44]

Algoritma K-Means juga dapat digunakan untuk segmentasi dengan dilanjutkan metode Combined Cross-point Number (CCN) yang merupakan kombinasi dari Simple Cross-point Number dan Modified Cross-point Number untuk menentukan titik persilangan dan percabangannya [15]. K-Means merupakan salah satu metode umum untuk klasterisasi yang sering digunakan dalam berbagai proses segmentasi. Penggabungan metode K-Means ini dengan CCN dapat menghasilkan hasil segmentasi yang lebih baik terutama dalam menandai titik persilangan dan percabangan dari pembuluh darah pada citra fundus retina mata.

3.2.4 Dekomposisi tree

Metode segmentasi *Quadtree Decomposition* [8] menggunakan proses dekomposisi rekursif dari suatu gambar menjadi empat wilayah yang sama dan proses pembagian dilakukan sampai semua piksel dalam blok memenuhi kondisi yang homogen. Algoritma ini menggunakan kondisi homogen sebagai berikut : tidak ada dua piksel dalam blok yang memiliki perbedaan intensitas yang lebih besar dari nilai *threshold* yang ditetapkan. Algoritma ini lebih cepat jika dibandingkan oleh metode segmentasi lain karena dalam metode ini dapat mereduksi kebutuhan *storage* untuk pemetaan tepi citra pembuluh.

3.3 Vessel tracing/tracking

Vessel tracking juga merupakan salah satu algoritma segmentasi yang sering sekali digunakan. Pada dasarnya *vessel tracking* adalah algoritma *principal curve projection* dan *tracing* [36]. Langkah *tracing* menggunakan gradien dan matriks Hessian dari intensitas citra untuk menghitung *principal curve* pada data yang mempunyai karakteristik lokal yang sama dengan *seed point*. Pemilihan *seed point* tersebut ditentukan oleh pusat klaster. Setiap iterasi *tracing*, sebuah *seed point* baru diberikan untuk menginisialisasi proses *tracing* yang lain. Kandidat pembuluh dideteksi dengan Automated Seed Generation (ASG) dan diklasifikasi dengan Linear Discriminant Classifier (LMSE), kNN, GMM, SVM dan *classifier* Hybrid yang menggabungkan kNN dan GMM menggunakan '*max*' rule [22]. Algoritma *tracing* sepanjang ridge menggunakan informasi orientasi dan ukuran yang didapat dari enhancement filter [44]. Proses *tracing* ini menggabungkan batasan ukuran dan linieritas pembuluh dan mampu menangani celah kecil di dalam pembuluh.

Multi-scale line tracking dikenalkan oleh Marios Vlachos et al [13] untuk mensegmentasi pembuluh darah pada citra fundus retina mata. Metode ini melakukan proses *tracking* dengan cepat, dimulai dengan estimasi sebuah *confidence matrix* dari sekelompok *seed* yang diekstraksi dari histogram citra. Dalam metode ini juga menggunakan *median filtering* untuk mengembalikan *vessel line* yang tidak terhubung dan mengurangi *noisy lines*. Metode ini termasuk salah satu yang disarankan untuk digunakan dalam teknik segmentasi. Hal ini dikarenakan kehandalan dari metode ini untuk mendapatkan hasil segmentasi yang baik serta tingkat kompleksitas yang rendah dari metode ini.

Dari teknik segmentasi di atas terdapat beberapa metode yang disarankan untuk masing-masing kelompok. Ada beberapa metode yang dapat dijadikan saran dan alternatif untuk diterapkan dalam proses segmentasi antara lain *multi-scale quadrature filtering*, *gaussian matched filtering*, dan *multi-scale line operator*, dan *multi-scale line tracking*. Hal ini terkait kemudahan dalam implementasi dan hasil segmentasi yang baik. Namun, pemilihan metode ini tergantung dari kondisi dan keperluan lain dari penelitian yang terkait.

4. POST PROCESSING

Postprocessing merupakan proses akhir yang dilakukan dalam sebuah penelitian. Proses ini ditujukan untuk lebih memperhalus, menajamkan dan memperbaiki hasil yang didapat dari proses segmentasi. Dengan adanya proses ini, diharapkan hasil dari pendeteksian dan segmentasi pembuluh

pada citra fundus retina mata dapat lebih baik dan optimal. Tabel 3 merupakan daftar referensi *postprocessing* yang dikaji dalam makalah ini. Ada 7 teknik *postprocessing* yang dapat dijadikan alternatif dalam penelitian segmentasi pembuluh darah.

Postprocessing yang pertama dilakukan dengan pengisian *pixel gaps* dalam pembuluh darah yang terdeteksi [17,27]. Penelitian ini memanfaatkan *iterative filling operation* dengan memastikan bahwa titik dengan minimal 6 tetangganya titik pembuluh juga merupakan titik pembuluh. *Postprocessing* kedua dengan penghapusan kesalahan pendeteksian pada piksel di tepi pembuluh [17]. Setiap *region* yang terkoneksi ke dalam sebuah area di bawah 25 piksel akan ter klasifikasi sebagai bukan pembuluh.

Postprocessing berikutnya memanfaatkan morfologi dilasi dan *area close* [18,32]. Morfologi ini digunakan untuk meminimalisasi *noise* atau kesalahan klasifikasi pembuluh (hanya *boundary-boundary*-nya yang terklasifikasi) [18]. Sedangkan operasi morfologi dilasi akan mengisikan gaps di antara *boundary* pembuluh yang terdeteksi [32].

Proses *postprocessing* digunakan untuk lebih mengidentifikasi pembuluh darah pada citra retina mata [8]. Pada penelitian Sumeet Dua et al [8], tahapan ini terbagi menjadi dua sub langkah. Aplikasi operator beda hingga. Sebuah operator beda hingga $[-1 \ 1]$ diterapkan sepanjang citra yang telah *didekomposisi quadtree* yang diperoleh dari tahapan sebelumnya untuk mendeteksi pembuluh darah sebagai suatu tepi. Selanjutnya dilakukan proses filtrasi akhir dari obyek-obyek yang tidak diinginkan. Hal ini dapat dilakukan dengan menghitung panjang obyek dan mengeliminasi semua obyek yang panjangnya kurang dari *threshold*.

Tabel 3. Daftar Referensi Postprocessing

Postprocessing
Diego Marin et al [17]
S.Jimenez et al [27]
D.J.Cornforth et al [18]
M.Usman Akram et al [32]
Sumeet Dua et al [8]
Marios Vlachos et al [13]
Qin Li et al [28]
Jumlah = 7

Penelitian Marios Vlachos et al [13] menggunakan *morphological post-processing* untuk menghapus area yang salah dengan menggunakan atribut *directional* dari pembuluh dan *morphological reconstruction* [27]. *Fast hybrid reconstruction* diimplementasikan dengan menggunakan sebuah

mask pada citra hasil dari *directional filtering* sedangkan *mask* yang digunakan adalah morfologi *opening* dari citra hasil *directional filtering*.

Qin Li et al [28] mengadopsi *parallel-edge vessel* model untuk tahap *post-processing*. Untuk setiap piksel yang tersegmentasi, dicari sepasang piksel *boundary* sepanjang arah normal dari pembuluh. Arah normal yang dimaksud meruapakan arah dengan *matched filter respons* yang maksimal. Piksel *boundary* dihasilkan dengan mengurangi citra hasil segmentasi dengan hasil dilasi dari citra tersebut. *Anisotropic morphological operation* juga dilakukan dalam tahap *post-processing* ini untuk menghubungkan pembuluh yang rusak dari hasil segmentasi. Hal ini dikarenakan pembuluh yang ada dalam citra fundus retina mata masukan mempunyai ukuran yang kecil dan tipis.

Metode *postprocessing* yang disarankan untuk diterapkan dalam penelitian terkait dapat berupa pemanfaatan morfologi matematis seperti morfologi dilasi dan erosi serta *anisotropic morphological operation* yang sering digunakan dalam pengeliminasian *noise*. Selain metode-metode tersebut, metode *iterative filling operation* juga salah satu metode yang disarankan untuk digunakan dalam tahap *postprocessing*. Selain itu dapat juga ditambahkan dengan penghapusan kesalahan pendeteksian pada piksel di tepi pembuluh seperti pada penelitian Diego Marin et al [17].

5. KESIMPULAN

Makalah ini ditujukan untuk membantu peneliti-peneliti lain dalam melakukan peneliiian mengenai *diabetic retinopathy*. Namun, metode-metode yang tertera dalam setiap tahap di makalah ini bukan membuktikan metode yang terbaik untuk digunakan dalam penelitian di bidang *diabetic retinopathy*. Banyaknya referensi yang mengacu pada satu metode tidak menandakan bahwa metode tersebut memiliki keunggulan dibanding metode yang lain. Setiap metode mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing.

Dari ulasan pembahasan dari tiap-tiap metode yang ada dalam makalah referensi dapat dipilih berbagai metode yang disarankan untuk diterapkan dalam penelitian terkait. GLAPOW dan *non-uniform enhancement* juga merupakan teknik-teknik *preprocessing* yang juga disarankan untuk digunakan d alam penelitian terkait. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) juga merupakan salah satu metode *preprocessing* yang disarankan. Namun dalam penerapakan metode ini, diperlukan suatu teknik pengurangan *noise* untuk mengeliminasi kelemahan yang dihasilkan oleh metode CLAHE ini. Mean filter, median filter dan gaussian kernel dapat digunakan bergantian untuk mereduksi *noise* yang ada. *Preprocessing* dalam

penelitian M.H.Ahmad Fadzil et al [39] dapat juga dijadikan salah satu alternatif digunakan dalam penelitian tentang segmentasi pembuluh darah yang lain.

Pada tahap segmentasi ada beberapa metode yang dapat dijadikan saran dan alternatif untuk diterapkan dalam proses segmentasi antara lain *multi-scale quadrature filtering*, *gaussian matched filtering*, *multi-scale line operator* dan *multi-scale line tracking*. Hal ini terkait kemudahan dalam implementasi dan hasil segmentasi yang baik.

Metode *postprocessing* yang disarankan untuk diterapkan dalam penelitian terkait dapat berupa pemanfaatan morfologi matematis seperti morfologi dilasi dan erosi yang sering digunakan dalam pengeliminasian *noise*. Selain metode-metode tersebut, metode *iterative filling operation* juga salah satu metode yang disarankan untuk digunakan dalam tahap *postprocessing*. Selain itu dapat juga ditambahkan dengan penghapusan kesalahan pendeteksian pada piksel di tepi pembuluh seperti pada penelitian Diego Marin et al [17].

Metode-metode yang disarankan ini masih bergantung dari kondisi dan keperluan lain dari penelitian terkait yang akan dilakukan. Kondisi dan keperluan lain yang dimaksud seperti tebal dan tipisnya pembuluh darah yang akan disegmentasi, penandaan titik percabangan dan persilangan, serta tujuan untuk mensegmentasi pembuluh darah. Jadi metode-metode yang disarankan ini bukan berarti metode yang terbaik untuk diterapkan dalam berbagai penelitian yang terkait. Tidak tertutup kemungkinan terdapat metode-metode baru yang dapat dijadikan alternatif untuk diterapkan dalam penelitian segmentasi pembuluh darah yang lain. Namun penelitian ini dapat menjadi salah satu bahan referensi bagi peneliti tentang otomatisasi *diabetic retinopathy* tingkat lanjut. Langkah berikut yang akan dikerjakan adalah pembuatan suatu makalah studi literatur mengenai segmentasi dan klasifikasi gejala-gejala yang ada dalam *diabetic retinopathy*, meliputi *microaneurysms*, *hemorrhage*, *exudates* dan lain-lain.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdulrahman A. Alghadyan, MD. 2011. "Diabetic retinopathy – An update". **Department of Ophthalmology, Saudi Journal of Ophthalmology**. 25: 99–111.
- [2] Fiona Harney, "Diabetic retinopathy". **Complications of Diabetes**. Medicine 34:3
- [3] R.J. Winder, P.J. Morrow, I.N. McRitchie, J.R. Bailie, P.M. Hart. 2009. "Algorithms for digital image processing in diabetic retinopathy". **Computerized Medical Imaging and Graphics**. 33:608–622.

- [4] O.R.A.U. Faust, E. Ng, K.-H. Ng, J. Suri. 2010. "Algorithms for the automated detection of diabetic retinopathy using digital fundus images: a review". **Journal of Medical Systems**. 36:1–13.
- [5] J.J. Kanski. 2007. "Clinical Ophthalmology". **6th ed., Elsevier Health Sciences**. London, UK.
- [6] M.M.Fraz, P.Remagnino, A.Hoppe, B. Uyyanonvara, A.R.Rudnicka. 2012. "Blood vessel segmentation methodologies in retinal images-A survey". **Computer Methods and Programs in Biomedicine**. 1-27.
- [7] Abdolhossein Fathi, Ahmad Reza Naghsh-Nilchi. 2012. "Automatic wavelet-based retinal blood vessel segmentation and vessel diameter estimation". **Biomedical Signal Processing and Control**. 1-10.
- [8] Sumeet Dua, Naveen Kandiraju, Hilary W. Thompson. 2005. "Design and Implementation of a Unique Blood-vessel Detection Algorithm towards Early Diagnosis of Diabetic Retinopathy". **Proceedings of the International Conference on Information Technology: Coding and Computing**. (ITCC'05)
- [9] Haniza Yazid, Hamzah Arof, Hazlita MI. 2012. "Excudates Segmentation Using Inverse Surface Adaptive Thresholding", **Measurement** 45. 1599-1608.
- [10] Marwan D.Saleh, C.Eswaran. 2012. "An automated decision-support system for non-proliferative diabetic retinopathy disease based on MAs and HAs detection". **Computer Methods And Programs In Biomedicine**. 1:11.
- [11] Cemal Kose, Ugur Sevik, Cevat Ikibas, Hidayet Erdol. 2012. "Simple methods for segmentation and measurement of diabetic retinopathy lesions in retinal fundus images". **Computer Methods And Programs In Biomedicine**. 107:274-293.
- [12] J. Ng, S.T. Clay, S.A. Barman, A.R. Fielder, M.J. Moseley, K.H. Parker, C. Paterson, 2010. "Maximum likelihood estimation of vessel parameters from scale space analysis". **Image and Vision Computing**. 28:55–63.
- [13] Marios Vlachos, Evangelos Dermatas. 2010. "Multi-scale retinal vessel segmentation using line tracking". **Computerized Medical Imaging and Graphics**. 34:213-227.
- [14] Thomas Walter, Pascale Massin, Ali Erginay, Richard Ordonez, Clotilde Jeulin, Jean-Claude Klein. 2007. "Automatic detection of microaneurysms in". **Medical Image Analysis**. 11:555-566.

- [15] A.M. Aibinu, M.I. Iqbal, A.A. Shafie, M.J.E. Salami, M. Nilsson. 2010. "Vascular intersection detection in retina fundus images using a new hybrid approach". **Computers in Biology and Medicine**. 40: 81-89.
- [16] Akara Sopharak, Bunyarit Uyyanonvara, Sarah Barman, Thomas H. Williamson. 2008. "Automatic detection of diabetic retinopathy exudates from non-dilated retinal images using mathematical morphology methods". **Computerized Medical Imaging and Graphics**. 32:720-727.
- [17] Diego Marin, Arturo Aquino, Manuel Emilio Gegundez-Arias, and Jose Manuel Bravo. 2011. "A New Supervised Method for Blood Vessel Segmentation in Retinal Images by Using Gray-Level and Moment Invariants-Based Features". **IEEE Transactions on Medical Imaging** Vol. 30, No. 1:146-158.
- [18] D.J. Cornforth, H.J. Jelinek, J.J.G. Leandro, J.V.B. Soares, R.M. Cesar, Jr., M.J. Cree, P. Mitchell, and T. Bossomaier. 2005. "Development of retinal blood vessel segmentation methodology using wavelet transforms for assessment of diabetic retinopathy". **Complexity International**. 11:50-61.
- [19] D.J.J. Farnell, F.N. Hatfield, P. Knox, M. Reakes, S. Spencer, D. Parry, S.P. Harding. 2008. "Enhancement of blood vessel in digital fundus photographs via the application of multiscale line operator". **Journal of the Franklin Institute**. 345:748-765.
- [20] Daniel Welfer, Jacob Scharcanski, Cleyson M. Kitamura, Melissa M. Dal Pizzol, Laura W.B. Ludwig, Diane Ruschel Marinho. 2010. "Segmentation of the optic disc in color eye fundus images using an adaptive morphological approach". **Computers in Biology and Medicine**. 40:124-137.
- [21] Keerthi Ram, Yogesh Babu, and Jayanthi Sivaswamy. 2009. "Curvature Orientation Histograms for Detection and Matching of Vascular Landmarks in Retinal Images".
- [22] Sandip Pradhan, S. Balasubramanian, V. Chandrasekaran. 2008. "An Integrated Approach using Automatic Seed Generation and Hybrid Classification for the Detection of Red Lesions in Digital Fundus Images". **IEEE 8th International Conference on Computer and Information Technology Workshops**. 8:462-467.
- [23] B. Dupas, T. Walter, A. Erginay, R. Ordonez, N. Deb-Joardar, P. Gain, J.-C. Klein, P. Massin. 2010. "Evaluation of automated fundus photograph analysis algorithms for detecting microaneurysms, haemorrhages and exudates, and of a computer-assisted diagnostic system for grading diabetic retinopathy". **Diabetes & Metabolism**. 36:213-220.
- [24] Saurabh Garg, Jayanthi Sivaswamy, Siva Chandra. "Unsupervised Curvature-Based Retinal Vessel Segmentation".
- [25] Doaa Youssef, Nahed Solouma, Amr El-dib, Mai Mabrouk, and Abo-Bakr Youssef. 2010. "New Feature-Based Detection of Blood Vessels and Exudates in Color Fundus Images". **Image Processing Theory, Tools and Applications IEEE**. 10.
- [26] M.M. Fraz, S.A. Barman, P. Remagnino, A. Hoppe, A. Basit, B. Uyyanonvara, A.R. Rudnicka, C.G. Owen. 2011. "An approach to localize the retinal blood vessels using bit planes and centerline detection". **Computer Methods and Programs in Biomedicine**. 1-17.
- [27] S. Jimenez, P. Alemany, I. Fondon, A. Foncubierta, B. Acha, and C. Serrano. 2010. "Automatic detection of vessels in color fundus images". **Arch Soc Esp Ophthalmol**. 85(3):103-109.
- [28] Qin Li, Jane You, David Zhang. 2012. "Vessel segmentation and width estimation in retinal images using multiscale production of matched filter responses". **Expert Systems with Applications**. 39:7600-7610.
- [29] Y. Yang, S. Huang, N. Rao. 2008. "An automatic hybrid method for retinal blood vessel extraction". **International Journal of Applied Mathematics and Computer Science**. 18:399-407.
- [30] M.S. Miri, A. Mahloojifar. 2011. "Retinal image analysis using curvelet transform and multistructure elements morphology by reconstruction". **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**. 58:1183-1192.
- [31] Balint Antal, Istvan Lazar, Andras Hajdu, Zsolt Torok, Andrienne Csutak, Tunde Peto. 2010. "A Multi-level Ensemble-based System For Detecting Microaneurysms in Fundus Images". **4th International Workshop on Soft Computing Applications IEEE**. 10:137-142.
- [32] M. Usman Akram, Anam Tariq, Sarwat Nasir and Shoab A. Khan. 2009. "Gabor Wavelet Based Vessel Segmentation in Retinal Images". **IEEE**. 9.
- [33] M. Usman Akram and Aasia Khanum. 2010. "Retinal Images: Blood Vessel Segmentation by Threshold Probing". **IEEE**

- Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA)**. 10:493-497.
- [34] Deepika Vallabha, Rapmprasath Dorairaj, Kamesh Namuduri, Hilary Thompson. "Automated Detection and Classification of Vascular Abnormalities in Diabetic Retinopathy". **IEEE**. 4.
- [35] Wong Li Yun, U.Rajendra Acharya, Y.V.Venkatesh, Caroline Chee, Lim Choo Min, E.Y.K.Ng. 2008. "Identification of different stage of diabetic retinopathy using retinal optical images". **Information Sciences**. 178:106:121.
- [36] S.You, E.Bas, D.Erdogmus, J.Kalpathy-Cramer. 2011. "Principal Curve Based Retinal Vessel Segmentation Towards Diagnosis of Retinal Diseases". **IEEE International Conference on Healthcare Informatics Imaging and Systems Biology**. 11:331-337.
- [37] Girish Singh Ramlugun, Vivek Krishna Nagarajan, Chandan Chakraborty. 2012. "Small retinal vessel extraction towards proliferative diabetic retinopathy screening". **Expert Systems with Applications**. 39:1141-1146.
- [38] Xu Wen-Hua. 2011. "Detection of Microaneurysms in Bitfrequency Space Based on SVM". **IEEE**. 11:1432:1435.
- [39] M.H.Ahmad Fadzil, Lila Iznita Izhar, Hanung Adi Nugroho. 2010. "Determination of foveal avascular zone in diabetic retinopathy digital fundus images". **Computers in Biology and Medicine**. 40:657-664.
- [40] J.Jan, J.Odstreilik, J.Gazarek, R.Kolar. 2012. "Retinal image analysis aimed at blood vessel tree segmentation and early detection of neural-layer deterioration". **Computerized Medical Imaging and Graphic**. 1-11.
- [41] Kanika Verma, Prakash Deep and A.G.Ramakrishnan, Senior Member, IEEE. "Detection and Classification of Diabetic Retinopathy using Retinal Images". **IEEE**.
- [42] B.Raman, E.S.Bursell, M.Wilson, G.Zamora, I.Benche, S.C.Nemeth. 2004. "The Effects of Spatial Resolution on an Automated Diabetic Reinopathy Screening System's Performance in Detecting Microaneurysms for Diabetic Retinopathy". **Proceedings of the 17th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS'04)**.
- [43] Mohammed Al-Rawi, Munib Qutaishat, Mohammed Arrar. 2007. "An improved matched filter for blood vessel detection of digital retinal images". **Computer in Biology and Medicine**. 37.
- [44] Changhua Wu, Gady Agam, Peter Stancev. "A general framework for vessel segmentation in retinal images". **IEEE**.
- [45] C. Yao, H.-j. Chen. 2009. "Automated retinal blood vessels segmentation based on simplified PCNN and fast 2D-Otsu algorithm", **Journal of Central South University of Technology**. 16:640–646.
- [46] Bob Zhang, Fakhri Karray, Qin Li, Lei Zhang. 2012. "Sparse Representation Classifier for microaneurysm detection and retinal blood vessel extraction". **Information Sciences**. 200:78-90.
- [47] R.Vidyasari, I.Sovani dan T.L.R.Mengko, H.Zakaria. 2011. "Vessel Enhancemen Algorithm in Digital Retinal Fundus Microaneurysms Filter for Nonproliferative Diabetic Retinopathy Classification". **International Conference on Instrumentation, Communication, Information Technology an Biomedical Engineering IEEE**.
- [48] Gunnar Lathen, Jimmy Jonasson, Magnus Borga. 2010. "Blood vessel segmentation using multi-scale quadrature filtering". **Pattern Recognition Letter**. 31.
- [49] Chunghua Wu-Jennifer J. Kang Derwent-Peter Stanchev. 2008. "Retinal Vessel Radius Estimation and a Vessel Center Line Segmentation Method Based on Ridge Descriptors". **J Sign Process Syst Springer Science + Business Media**.
- [50] Yi Yin, Mouloud Adel, Salah Bourenane. 2012. "Retinal vessel segmentation using a probabilistic tracking method". **Pattern Recognition**. 45:1235-1244.
- [51] G.B. Kande, P.V. Subbaiah, T.S. Savithri.. 2009. "Unsupervised fuzzy based vessel segmentation in pathological digital fundus images". **Journal of Medical Systems**. 34: 849–858.