

SEGMENTASI PEMBULUH DARAH PADA CITRA FUNDUS MENGUNAKAN ISOTROPIC UNDECIMATE WAVELET TRANSFORM DAN FUZZY REGION GROWING

¹Putri Nur Rahayu, ²Chastine Fatichah

¹²Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS, Jl. Raya ITS, Sukolilo – Surabaya 60111, Telp. +62 31 5939214, Fax. +62 31
5913804

¹putri_nur_rahayu@yahoo.co.id, ²chastine@cs.its.ac.id

Abstrak. Segmentasi pembuluh darah pada citra retina menjadi hal yang substansial dalam dunia kedokteran, karena citra retina dapat digunakan untuk mendeteksi beberapa penyakit, seperti: *diabetic retinopathy*, *hypertension*, dan *cardiovascular*. Dokter membutuhkan waktu yang lama untuk mendeteksi pembuluh darah retina terutama pembuluh darah tipis karena diproses secara manual, sehingga diperlukan metode yang dapat membantu proses diagnosis agar lebih cepat. Pada penelitian ini menggabungkan metode isotropic undecimated wavelet transform (IUWT) dan fuzzy-region growing (FRG) untuk segmentasi pada citra fundus. Metode IUWT digunakan sebagai segmentasi awal, sedangkan FRG digunakan untuk segmentasi akhir pada pembuluh darah tebal dan tipis. Input awal yaitu citra fundus yang diambil green channel selanjutnya diproses dengan IUWT dan FRG. Output hasil segmentasi IUWT dan FRG yaitu pembuluh darah tebal dan tipis. Skenario uji coba menggunakan dua skenario yang pertama uji coba perbandingan dengan citra groundtruth, skenario kedua perbandingan hasil segmentasi IUWT dan fuzzy-region growing. Rata-rata metode IUWT dan FRG lebih tinggi yaitu 92 % daripada metode IUWT dan thresholding sebesar 83%.

Kata Kunci: Segmentasi Pembuluh darah Fundus, Isotropic Undecimated Wavelet Transform dan Fuzzy-Region Growing.

Proses diagnosis penyakit retinopati diabetik sangat penting untuk mengetahui tingkat keparahan atau adanya ciri-ciri yang mengidentifikasi kalau terdapat kelainan retina sejak dini, agar bisa mencegah keparahan penyakit retinopati. Proses diagnosis secara manual akan sangat sulit karena dibutuhkan ketelitian dan keahlian, oleh karena itu dibutuhkan suatu alat yang secara otomatis dapat mendeteksi citra mata termasuk kedalam ciri-ciri penyakit retinopati diabetik atau tidak.

Dalam beberapa tahun terakhir, identifikasi kelainan mata terhadap citra digital retina dengan bantuan komputer menjadi hal yang sangat populer. Terdapat beberapa penelitian tentang segmentasi pembuluh darah tebal dan tipis pada pembuluh darah fundus.

Metode segmentasi dengan *thresholding* seperti penelitian yang dilakukan oleh (BahadarKhan, Khaliq, & Shahid, 2016), (Tagore, Kande, Rao, & Rao, 2013), (Mapayi, Viriri, & Tapamo, 2015), (Nazari & Pourghassem, 2013), (Roychowdhury,

Koozekanani, & Parhi, 2015). Dari beberapa penelitian dengan menggunakan metode *thresholding* dapat dilihat bahwa yang membedakan hasil segmentasi dipengaruhi oleh proses *preprocessing* sebelum proses *thresholding* seperti penelitian (Tagore et al., 2013) dengan menggabungkan *red* dan *green channel* untuk memodifikasi pencayahaan yang non seragam pada citra fundus dan proses selanjutnya yaitu menggunakan *phase congruency* untuk meningkatkan kontras *foreground* dan *background*. (Roychowdhury et al., 2015) dengan pemilihan *green channel negative* untuk meningkatkan kekontrasan sebelum proses *thresholding*.

Metode segmentasi dengan pendekatan klasifikasi seperti penelitian (Oliveira, Teixeira, Ren, Cavalcanti, & Sijbers, 2016), (Marín, Aquino, Gegúndez-arias, & Bravo, 2011), (Akhavan & Faez, 2014), (Gong, Li, Liu, Wu, & Chen, 2015). Pendekatan dengan klasifikasi pada proses segmentasi digunakan untuk menentukan tepi pada pembuluh darah (Akhavan & Faez, 2014). (Oliveira et al., 2016) digunakan untuk proses segmentasi

yang dikombinasikan dengan *filtering* yaitu *match filter*. Peneliti (Fan et al., 2016) pendekatan klasifikasi digunakan untuk mendeteksi sejumlah fitur yang diambil pada segmentasi pada fundus.

Metode segmentasi pada fundus dengan pendekatan *transformasi wavelet* dan *transformasi fourier* yaitu seperti penelitian (Jiang, Zhou, Geng, Zhang, & Tang, 2016) dengan menggabungkan metode *isotropic undecimated wavelet transform* (IUWT) dengan *fuzzy clustering*, pada penelitian ini IUWT digunakan untuk proses *denoising*. (Lasso, Morales, & Torres, 2015) menggabungkan *fourier transform two dimensional* dengan *konvensional filter* untuk proses *filtering* sebelum dilakukan proses segmentasi. Peneliti (Sabilla, Soelaiman, & Faticah, 2015) menggunakan pendekatan *transformasi wavelet* dan *transformasi fourier* untuk mengekstrak pembuluh darah pada ruang *multiscala* dengan metode *isotropic undecimated wavelet transform*.

Metode segmentasi berbasis *region* seperti penelitian yang dilakukan oleh (Gong et al., 2015), (Zhang, Tang, Gui, & Liu, 2016), dan (Sutaji, Faticah, & Navastara, 2016). Pada penelitian yang dilakukan (Sutaji et al., 2016) segmentasi berbasis *region* yang dipakai yaitu metode *region growing*. Pada metode *region growing* digunakan untuk segmentasi pembuluh darah tipis.

Dari beberapa metode yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pada proses segmentasi pada fundus untuk memperbaiki hasil segmentasi harus dilakukan praproses yang sesuai dan perbaikan pada citra supaya hasil segmentasi bagus, selain itu juga dibutuhkan metode segmentasi yang sesuai agar pembuluh darah pada fundus baik tebal dan tipis dapat tersegmentasi dengan baik.

Dari beberapa penelitian secara visualisasi sudah dapat mensegmentasi pembuluh darah tebal dan tipis, namun ada pembuluh darah tipis yang belum tersegmentasi dengan baik, padahal pembuluh darah tipis sangat berguna untuk deteksi *diabetic retinopati*. Oleh karena itu, pada penelitian ini bertujuan untuk dapat mensegmentasi pembuluh darah tebal dan tipis dengan baik dengan menggabungkan metode *isotropic undecimated wavelet transform* (IUWT) dan *fuzzy-region growing*

(FRG). Penggunaan metode *isotropic undecimated wavelet transform* dikarenakan pada penelitian sebelumnya area pembuluh darah tebal dan tipis dapat terdeteksi dengan baik, sedangkan penggunaan *fuzzy-region growing* (FRG) sudah terbukti dapat mensegmentasi tepi yang tipis (Kang, Wang, & Kang, 2012). Kombinasi antara kedua metode diharapkan dapat meningkatkan nilai akurasi pada segmentasi pembuluh darah fundus

I. Metodologi

Praproses

Untuk menghasilkan kualitas gambar yang baik terlebih dahulu dilakukan proses perbaikan kualitas citra melalui proses *masking*, ada beberapa proses praproses salah satunya *masking* yang terdiri dari *thresholding* dan *shrinking* (Sabilla, Faticah, & Soelaiman, 2014). Sebelum dilakukan proses *masking* dilakukan proses pengambilan *green channel* untuk meningkatkan kekontrasan pada citra.

Isotropic Undecimated Wavelet Transform

Isotropic undecimated wavelet transform (IUWT) adalah metode segmentasi menggunakan analisis ruang skala. Algoritma *isotropic undecimated wavelet transform* (IUWT) sangat baik digunakan pada domain *astronomical* dikarenakan pada IUWT digunakan pada data *astronomical* data yang memiliki sifat *isotropic* yang sedikit pada setiap *case*.

Syarat yang harus dipenuhi dalam metode ini yaitu dalam dua dimensi atau lebih dimensi, filter, fungsi *scaling* dan fungsi *wavelet* harus mendekati *isotropic* (Sabilla et al., 2015). Untuk lebih jelasnya syarat yang harus dipenuhi pada metode ini dapat dilihat pada penjelasan dibawah ini:

1. Filter yang digunakan harus simetrik ($\overline{h[k]} = h[k]$) dan $\overline{g[k]} = g[k]$
2. Pada dua dimensi ataupun dimensi yang lebih tinggi h, g, ψ, ϕ harus mendekati isotropik. $h[k, l] = h[k]h[l]$ digunakan untuk mempercepat perhitungan.

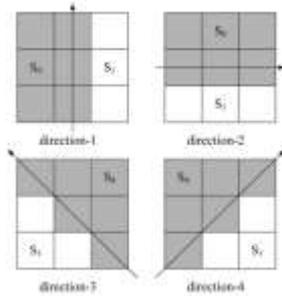
Fuzzy-Region Growing

Fuzzy-region growing digunakan untuk menentukan *seed* secara otomatis sesuai dengan kesamaan piksel, jarak *fuzzy* digunakan untuk menentukan perbedaan antara piksel yang memiliki perbedaan daerah yang besar, perbedaan jarak antara *region* yang kecil kemudian di *margin* yang berguna untuk menggabungkan dua daerah atau lebih yang memiliki jarak antara piksel yang kecil.

Langkah –langkah untuk menentukan *seed* pada *region growing*

1. Mendeteksi tepi yang terkoneksi

Pendeteksian tepi yang terkoneksi menggunakan 4 *direction*. Untuk lebih jelasnya pembagian pada masing-masing *direction* dapat dilihat pada Gambar 1.2.1.



Gambar 1. *Direction* untuk mendeteksi tepi yang terkoneksi

Empat *direction* yang akan digunakan untuk deteksi tepi terlebih dahulu dihitung nilai rata-rata tiap *direction* kemudian dibagi dengan 0.4 sesuai dengan persamaan 1.1.

$$d_s^{(k)} = \min\left(\frac{\|m_0 - m_1\|}{w_d}, 1\right), k=1,2,3,4 \quad (1.1)$$

Dimana m_0 dan m_1 adalah rata-rata dari S_0 dan S_1 pada masing masing *direction*, dengan nilai w_d adalah parameter yang sudah ditetapkan dari *fuzzy distance* yang mempengaruhi kemiringan pada fungsi keanggotaan *fuzzy* yaitu sebesar 0.4, setelah itu setiap rata rata dicari nilai *maximal* dan *indeks* dari semua piksel sesuai dengan persamaan 1.2.

$$E_{i,j} = \max_{k \in \{1,2,3,4\}} (d_s^{(k)}), \quad (1.2)$$

$$D_{i,j} = \text{Arg}(\max_{k \in \{1,2,3,4\}} d_s^{(k)})$$

Setelah semua piksel dalam gambar diproses oleh persamaan diatas, selanjutnya menentukan derajat keanggotaan $CE_{i,j}$ yaitu saat piksel terhubung dengan tepi. Derajat keanggotaan dapat dilihat pada persamaan dibawah ini.

$$\begin{aligned} \text{if } D_{ij} = 1, \text{ then } CE_{ij} &= \frac{1}{3}(E_{i-1j} + E_{ij} + E_{i+1j}) \\ \text{if } D_{ij} = 2, \text{ then } CE_{ij} &= \frac{1}{3}(E_{i-1j} + E_{ij} + E_{ij+1}) \\ \text{if } D_{ij} = 3, \text{ then } CE_{ij} &= \frac{1}{3}(E_{i-1j-1} + E_{ij} + E_{i+1j+1}) \\ \text{if } D_{ij} = 4, \text{ then } CE_{ij} &= \frac{1}{3}(E_{i+1j-1} + E_{ij} + E_{i-1j+1}) \end{aligned}$$

Keterangan:

$CE_{i,j}$ adalah fungsi keanggotaan nilai piksel yang memiliki nilai yang besar dengan *indeks* dari 4 *direction*.

Pada akhir pemrosesan derajat keanggotaan dihitung piksel yang tidak terkoneksi dengan tepi sesuai dengan persamaan 1.3.

$$NCE_{i,j} = 1 - CE_{i,j} \quad (1.3)$$

2. *Seed Region Growing* yang digunakan untuk segmentasi

a. *Pre-processing seed region growing*

Pertama-tama menggunakan nilai $CE_{i,j}$ dan $NCE_{i,j}$ pada setiap piksel $X_{i,j}$ dan tetangga piksel. Selanjutnya mendeteksi *fuzzy similarity* dengan menggunakan persamaan $S_{i,j}$ yang terdapat pada persamaan 1.4.

$$S_{i,j} = 1 - 1/9 \sum_{n=1}^9 \min\left(\frac{\|x_n - x_{mean}\|}{w_s}, 1\right) \quad (1.9)$$

Dimana pada X_n , n bernilai =1,2,...,9, dan X_{mean} adalah sembilan piksel yang ada pada *sliding window* dan rata-rata *vector*, sedangkan w_s adalah parameter yang mempengaruhi nilai dari $S_{i,j}$.

3. *Seed Selection*

Pemilihan *seed* awal harus memiliki kesamaan yang tinggi dengan tetangganya pada tepi maupun wilayah. Oleh karena itu pemilihan *seed* awal sesuai dengan persamaan 1.10. Sebelum melakukan pemilihan *seed* dilakukan proses *determining the threshold*.

If $\min(NCE_{i,j}, S_{i,j}) \geq T_{i,j}$, Then $X_{i,j}$ dijadikan *seed* (1.10)

Nilai $T_{i,j}$ adalah *threshold* dari *fuzzy rule* yang akan dijelaskan pada *section 4*.

4. *Determining the threshold*

Untuk menentukan nilai *threshold* $T_{i,j}$ yang memiliki dua input yaitu $\overline{S_{i,j}}$ dan $\overline{NCE_{i,j}}$ adalah rata-rata *fuzzy similarity* dan rata-rata derajat keanggotaan dari *fuzzy*. Piksel yang bukan tepi yang terhubung diproses menggunakan 5x5 *sliding windows* yang pusatnya berada posisi (i, j) . Nilai rata-rata $\overline{S_{i,j}}$ dan $\overline{NCE_{i,j}}$ besar, maka piksel dan *sliding window* berada pada *smooth region*, sebaliknya jika nilai $\overline{S_{i,j}}$ dan $\overline{NCE_{i,j}}$ kecil berarti piksel dan *sliding window* berada pada *complicated region*. Untuk menentukan *threshold* daerah *region* maka menggunakan *fuzzy-rule* sesuai dengan persamaan dibawah ini:

- Rule – 1: *if* $\overline{S_{i,j}}$ is BIG and $\overline{NCE_{i,j}}$ is BIG, then $T_{i,j}$ is SMALL
- Rule – 2: *if* $\overline{S_{i,j}}$ is BIG and $\overline{NCE_{i,j}}$ is SMALL, then $T_{i,j}$ is BIG
- Rule – 3: *if* $\overline{S_{i,j}}$ is SMALL and $\overline{NCE_{i,j}}$ is BIG, then $T_{i,j}$ is BIG
- Rule – 4: *if* $\overline{S_{i,j}}$ is SMALL and $\overline{NCE_{i,j}}$ is SMALL, then $T_{i,j}$ is BIG

Dimana *BIG* dan *SMALL* adalah tergantung masing-masing. Pada setiap *rule* memiliki nilai bobot yang berbeda $w_1 = \overline{S_{i,j}} \cdot \overline{NCE_{i,j}}$, $w_2 = \overline{S_{i,j}} \cdot (1 - \overline{NCE_{i,j}})$, $w_3 = (1 - \overline{S_{i,j}}) \cdot \overline{NCE_{i,j}}$ dan $w_4 = (1 - \overline{S_{i,j}}) \cdot (1 - \overline{NCE_{i,j}})$. Untuk menentukan nilai *threshold* dari masing-masing daerah menggunakan persamaan 1.11.

$$T_{i,j} = \frac{\sum_{r=1}^4 w_r \cdot t_r}{\sum_{r=1}^4 w_r} \quad (1.11)$$

w_r = Bobot pada tiap-tiap *fuzzy rule*.
 $t_r =$ *Threshold set*, $r=1,2,3,4$
 $[T_{small}, T_{big}, T_{big}, T_{big}]$ dengan nilai $T_{big} = 0.95$ dan $T_{small} = 0.75$.

5. *Post processing dari seed seleksi*

Pada masing-masing komponen yang terkoneksi memiliki satu *seed* atau beberapa *seed* yang membentuk suatu *region*, selanjutnya menghitung rata-rata *seed region* atau *seed* saja kemudian disimpan pada variabel $R_m = 1, 2, \dots, M$ dimana M adalah nomer dari rata-rata *seed*. Kemudian nilai piksel yang tidak dijadikan *seed* atau nilai piksel dari *seed* tetangga di *list* secara *sorting* dan dimasukkan ke variabel H . Menghitung nilai d digunakan untuk *fuzzy distance* yaitu untuk menghitung perbedaan antara beberapa *region* sesuai dengan jarak *fuzzy similarity* yang dapat dihitung dengan persamaan nomer 1.12.

$$d = \min_{m=1,2,\dots,M} \left(\frac{\|x_{i,j}^H - R_m\|}{w_d}, 1 \right) \quad (1.12)$$

Yang digunakan *seed* untuk *region growing* adalah yang memiliki nilai d terkecil.

6. *Region Growing*

Sebelum proses *region growing* dilakukan proses *cleaning* dikarenakan pada hasil *seed* terdapat *noise* sehingga akan berpengaruh terhadap proses *region growing*. Pada proses *region growing* yang dibutuhkan adalah nilai d nya, terdapat tiga syarat antara lain: pertama: jika terdapat hanya satu tetangga yang dilabeli, maka piksel label pada

region yang sama, jika lebih dari satu tetangga yang dilabeli dan label sama maka tetangga tersebut pada region yang sama, ketiga jika lebih dari satu tetangga memiliki label yang berbeda, maka harus dilihat nilai d . proses tersebut terus dilakukan secara *iterative* sampai nilai H kosong.

Skenario Uji Coba

Uji coba dilakukan untuk menganalisa performa dari sistem. Untuk mengetahui performa sistem, dilakukan uji coba dengan berbagai skenario sistem. Adapun beberapa skenario uji coba pada penelitian ini diantaranya:

1. Skenario pertama ujicoba perbandingan dengan citra *ground thruth*. Perbandingan dilakukan dengan citra *ground-thruth dataset drive* yang telah divalidasi oleh ahli. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar segmentasi pembuluh darah yang tersegmentasi dengan benar.
2. Skenario kedua perbandingan hasil segmentasi dengan penggabungan *isotropic undecimated wavelet transform* (IUWT) dan *fuzzy region growing* (FRG) dengan metode sebelumnya yaitu menggunakan IUWT dan *thresholding*.

II. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1. Hasil akurasi FRG dengan parameter 0.5

Citra	TPR	FPR	ACC	PCC
Citra_01	0.61	0.08	0.88	0.36
Citra_02	0.63	0.06	0.93	0.48
Citra_03	0.62	0.11	0.88	0.34
Citra_04	0.46	0.02	0.94	0.58
Citra_05	0.54	0.05	0.91	0.40
Citra_06	0.62	0.07	0.90	0.37
Citra_07	0.49	0.04	0.92	0.48
Citra_08	0.35	0.02	0.94	0.47
Citra_09	0.61	0.05	0.93	0.40
Citra_10	0.64	0.07	0.90	0.36
Citra_11	0.51	0.04	0.93	0.47
Citra_12	0.41	0.03	0.92	0.47
Citra_13	0.46	0.03	0.92	0.52
Citra_14	0.58	0.06	0.90	0.39
Citra_15	0.56	0.04	0.93	0.45
Citra_16	0.55	0.06	0.92	0.41
Citra_17	0.62	0.05	0.92	0.42
Citra_18	0.59	0.06	0.92	0.28
Citra_19	0.61	0.07	0.90	0.38

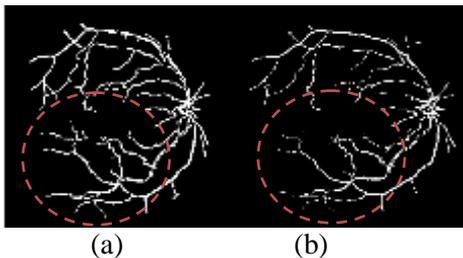
Citra_20	0.51	0.04	0.92	0.40
Citra_21	0.56	0.03	0.93	0.46
Citra_22	0.61	0.07	0.90	0.37
Citra_23	0.60	0.09	0.88	0.25
Citra_24	0.59	0.04	0.92	0.53
Citra_25	0.35	0.01	0.94	0.53
Citra_26	0.61	0.08	0.89	0.35
Citra_27	0.55	0.04	0.93	0.48
Citra_28	0.63	0.06	0.91	0.42
Citra_29	0.58	0.05	0.92	0.44
Citra_30	0.61	0.09	0.90	0.31
Citra_31	0.51	0.02	0.95	0.47
Citra_32	0.69	0.05	0.92	0.44
Citra_33	0.63	0.04	0.93	0.45
Citra_34	0.44	0.07	0.90	0.31
Citra_35	0.55	0.05	0.92	0.45
Citra_36	0.52	0.05	0.91	0.49
Citra_37	0.58	0.06	0.91	0.40
Citra_38	0.47	0.03	0.93	0.49
Citra_39	0.57	0.08	0.90	0.34
Citra_40	0.57	0.07	0.90	0.33
Rata-rata	0.55	0.05	0.92	0.41

Tabel 2. Hasil akurasi FRG dengan Thresholding

Citra	TPR	FPR	ACC	PCC
Citra_01	0.61	0.08	0.88	0.36
Citra_02	0.16	0.12	0.81	0.10
Citra_03	0.20	0.11	0.82	0.14
Citra_04	0.14	0.12	0.82	0.08
Citra_05	0.26	0.11	0.84	0.14
Citra_06	0.15	0.12	0.82	0.07
Citra_07	0.14	0.12	0.82	0.08
Citra_08	0.17	0.12	0.83	0.07
Citra_09	0.28	0.11	0.84	0.11
Citra_10	0.16	0.12	0.82	0.07
Citra_11	0.19	0.12	0.83	0.09
Citra_12	0.23	0.11	0.83	0.13
Citra_13	0.16	0.12	0.82	0.09
Citra_14	0.16	0.12	0.82	0.08
Citra_15	0.19	0.12	0.83	0.08
Citra_16	0.15	0.12	0.82	0.87
Citra_17	0.14	0.12	0.83	0.06
Citra_18	0.14	0.12	0.83	0.06
Citra_19	0.17	0.12	0.82	0.09
Citra_20	0.16	0.12	0.83	0.07
Citra_21	0.11	0.10	0.85	0.06
Citra_22	0.15	0.10	0.84	0.10
Citra_23	0.13	0.10	0.85	0.06
Citra_24	0.16	0.09	0.84	0.12
Citra_25	0.16	0.09	0.85	0.09
Citra_26	0.12	0.10	0.84	0.08

Citra_27	0.16	0.09	0.85	0.12
Citra_28	0.19	0.09	0.84	0.10
Citra_29	0.17	0.09	0.85	0.10
Citra_30	0.15	0.09	0.85	0.09
Citra_31	0.12	0.10	0.86	0.05
Citra_32	0.16	0.09	0.85	0.09
Citra_33	0.14	0.10	0.85	0.08
Citra_34	0.11	0.10	0.84	0.07
Citra_35	0.13	0.10	0.84	0.09
Citra_36	0.16	0.09	0.84	0.13
Citra_37	0.14	0.10	0.84	0.09
Citra_38	0.16	0.09	0.85	0.12
Citra_39	0.11	0.10	0.84	0.16
Citra_40	0.57	0.07	0.90	0.33
Rata-rata	0.18	0.10	0.83	0.12

Dari hasil nilai akurasi dapat dilihat bahwa performa IUWT dan FRG lebih bagus dibandingkan dengan IUWT dikarenakan pada IUWT pembuluh darah tebal maupun tipis dapat tersegmentasi dengan lebih baik



Gambar 2. Hasil perbandingan secara visualisasi

Gambar (a) adalah hasil visualisasi FRG dan Gambar (b) hasil visualisasi thresholding. Dilihat bahwa hasil FRG secara visualisasi pembuluh darah tipis dapat tersegmentasi dibandingkan dengan metode *thresholding*.

III. Simpulan

1. Segmentasi pembuluh darah pada fundus menggunakan metode IUWT dan FRG memiliki nilai performa yang lebih baik dibandingkan metode *thresholding* dan IUWT. Dengan akurasi 92 % untuk FRG dan 83% untuk *thresholding*.
2. Penentuan nilai parameter pada fuzzy menentukan tersegmentasinya pembuluh darah tebal maupun tipis dan level pada IUWT yang digunakan juga mempengaruhi hasil segmentasi.

IV. Daftar Pustaka

- [1] Akhavan, R., & Faez, K. (2014). A Novel Retinal Blood Vessel Segmentation Algorithm using Fuzzy segmentation, 4(4).
- [2] BahadarKhan, K., Khaliq, A. A., & Shahid, M. (2016). A morphological hessian based approach for retinal blood vessels segmentation and denoising using region based otsu thresholding. PLoS ONE, 11(7), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158996>
- [3] Bitirgen, G., Ozkagnici, A., Malik, R. a, & Kerimoglu, H. (2014). Corneal nerve fibre damage precedes diabetic retinopathy in patients with type 2 diabetes mellitus. Diabetic Medicine : A Journal of the British Diabetic Association, 31(4), 431–8. <https://doi.org/10.1111/dme.12324>
- [4] Fan, Z., Rong, Y., Lu, J., Mo, J., Li, F., Cai, X., & Yang, T. (2016). Automated Blood Vessel Segmentation in Fundus Image Based on Integral Channel Features and Random Forests.
- [5] Gong, H., Li, Y., Liu, G., Wu, W., & Chen, G. (2015). A Level Set Method For Retina Image Vessel Segmentation Based On The Local Cluster Value Via Bias Correction, (Cisp), 413–417.
- [6] Hassan, G., El-bendary, N., Ella, A., & Fahmy, A. (2015). Retinal blood vessel segmentation approach based on mathematical morphology. Procedia - Procedia Computer Science, 65(Iccmit), 612–622. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.005>
- [7] Jiang, K., Zhou, Z., Geng, X., Zhang, X., & Tang, L. (2016). Isotropic Undecimated Wavelet Transform Fuzzy Algorithm for Retinal Blood Vessel Segmentation Isotropic Undecimated Wavelet Transform Fuzzy Algorithm for Retinal Blood Vessel Segmentation, (April). <https://doi.org/10.1166/jmihi.2015.1561>
- [8] Lasso, W., Morales, Y., & Torres, C. (2015). Image segmentation blood

- vessel of retinal using conventional filters, Gabor Transform and skeletonization. 2014 19th Symposium on Image, Signal Processing and Artificial Vision, STSIVA 2014, (1). <https://doi.org/10.1109/STSIVA.2014.7010170>
- [9] Lubis, R. R. (2008). Diabetik retinopati. USU Repository, 1–12. Retrieved from http://www.slideshare.net/hendri_88/diabetik-retinopati
- [10] Mapayi, T., Viriri, S., & Tapamo, J. (2015). Comparative Study of Retinal Vessel Segmentation Based on Global Thresholding Techniques, 2015.
- [11] Marín, D., Aquino, A., Gegúndez-arias, M. E., & Bravo, J. M. (2011). A New Supervised Method for Blood Vessel Segmentation in Retinal Images by Using Gray-Level and Moment Invariants-Based Features, 30(1), 146–158.
- [12] Nazari, P., & Pourghassem, H. (2013). An automated vessel segmentation algorithm in retinal images using 2D Gabor wavelet. 2013 8th Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing (MVIP), 145–149. <https://doi.org/10.1109/IranianMVIP.2013.6779967>
- [13] Oliveira, W. S., Teixeira, J. V., Ren, T. I., Cavalcanti, G. D. C., & Sijbers, J. (2016). Unsupervised retinal vessel segmentation using combined filters. PLoS ONE, 11(2), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149943>
- [14] Roychowdhury, S., Koozekanani, D. D., & Parhi, K. K. (2015). Iterative Vessel Segmentation of Fundus Images. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 62(7), 1738–1749. <https://doi.org/10.1109/TBME.2015.2403295>
- [15] Sabilla, W. I., Soelaiman, R., & Fatichah, C. (2015). Automatic Detection of Proliferative Diabetic Retinopathy with Hybrid Feature Extraction Based on Scale Space Analysis and Tracking, 95–96.
- [16] Sutaji, D., Fatichah, C., & Navastara, A. (2016). Segmentasi Pembuluh Darah Retina Pada Citra Fundus Menggunakan Gradient Based Adaptive Thresholding Dan Region Growing, 2, 105–116.
- [17] Tagore, M. R. N., Kande, G. B., Rao, E. V. K., & Rao, B. P. (2013). Segmentation of retinal vasculature using phase congruency and hierarchical clustering. Proceedings of the 2013 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, ICACCI 2013, 361–366. <https://doi.org/10.1109/ICACCI.2013.6637198>
- [18] Zhang, J., Tang, Z., Gui, W., & Liu, J. (2016). Retinal vessel image segmentation based on correlational open active contours model. Proceedings - 2015 Chinese Automation Congress, CAC 2015, (20130162110013), 993–998.
- [19] (Kang, Wang, & Kang, 2012). Image segmentation with complicated background by using seeded region growing. Journal – 2012 International journal of Electronics and Communication (AEU), 767-771.

Halaman ini sengaja dikosongkan.