

ABSTRAK

Citra retina banyak digunakan dalam pemeriksaan mata, di antaranya dengan cara melakukan segmentasi pembuluh darah retina untuk mendapatkan informasi yang berguna bagi diagnosis klinis berbagai gangguan kesehatan mata, antara lain *diabetic retinopathy* (DR). DR merupakan salah satu komplikasi pada penderita diabetes. Tingkat keparahan DR tertinggi ditandai dengan munculnya pembuluh darah baru. Permasalahan yang dihadapi dalam proses segmentasi pembuluh darah retina adalah adanya pencahayaan yang bervariasi saat proses pencitraan, kontras yang rendah dan adanya *noise* pada citra retina. Meskipun banyak peneliti telah mengusulkan metode berbeda untuk segmentasi citra pembuluh darah retina, unjuk kerjanya, dalam hal ini nilai *sensitivity*, masih perlu untuk ditingkatkan. Selain itu, perkembangan teknologi kamera retina menghasilkan citra dengan resolusi yang semakin tinggi. Sedangkan metode pengolahan citra umumnya dikembangkan dan diuji menggunakan citra dengan resolusi rendah, sehingga menunjukkan kelemahan dalam penggunaan klinis.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diusulkan metode segmentasi citra pembuluh darah retina menggunakan pendekatan berbasis *phase stretch transform* (PST). Kebaruan penelitian ini adalah pengembangan skema pada tahap *pre-processing* dan *post-processing*. Metode semula menggunakan Gaussian *low pass filter* pada tahap *pre-processing*, dan pada tahap *post-processing* menerapkan metode *thresholding*, morfologi *thinning*, dan penghapusan piksel yang terisolasi. Pada penelitian ini dilakukan pengembangan, yaitu pada bagian *pre-processing* meliputi seleksi *green channel*, filter *non-local means* untuk pengurangan *noise*, peningkatan kontras menggunakan metode *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE), dan filter median untuk mengurangi *salt and pepper noise*. Sedangkan pada bagian *post-processing* diterapkan CLAHE, filter median, *thresholding* Otsu untuk mendapatkan citra biner, dan operasi morfologi (*remove small objects*) serta *closing*. Digunakan data citra retina dengan resolusi tinggi dari *public dataset*, yaitu: HRF (*High-Resolution Fundus*) *Image Database*. Uji statistika dilakukan untuk mengetahui apakah ada perbedaan unjuk kerja antara metode yang diusulkan dengan metode awal. Sebelumnya terlebih dahulu dilakukan uji normalitas menggunakan metode *Lilliefors* untuk melihat apakah sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal, dan dilanjutkan dengan uji t.

Metode yang diusulkan berkontribusi untuk menghasilkan unjuk kerja segmentasi pembuluh darah retina yang lebih andal. Dari pengujian metode yang diusulkan diperoleh hasil nilai *sensitivity*, *specificity*, dan *accuracy* rata-rata berturut-turut adalah 0,813; 0,936; dan 0,926. Hasil tersebut jika dibandingkan dengan hasil metode awal sebelum dikembangkan menunjukkan adanya peningkatan sebesar 0,381; 0,287; 0,294 untuk nilai *sensitivity specificity*, dan *accuracy*. Hasil pengujian statistika dengan nilai $\alpha = 0,05$ (tingkat kepercayaan 0,95), dengan $p\text{-value} < 0,001$, menunjukkan adanya perbedaan unjuk kerja antara metode yang diusulkan dengan metode awal. Nilai rerata *sensitivity* metode-metode segmentasi sebelumnya yang dijadikan sebagai referensi adalah 0,679, sehingga perlu ditingkatkan. Metode yang diusulkan menghasilkan nilai *sensitivity* sebesar 0,813, memperlihatkan peningkatan yang signifikan, yaitu sebesar 0,135. Sedangkan nilai *specificity* dan *accuracy* dapat dipertahankan pada nilai di atas 0,9. Hal ini menunjukkan adanya potensi untuk digunakan pada diagnosis klinis berbagai gangguan kesehatan mata. *Sensitivity* menunjukkan kemampuan algoritme dalam mendeteksi piksel pembuluh darah. Struktur pembuluh darah retina mengandung berbagai informasi penting yang berguna untuk mendeteksi dan melakukan perawatan terhadap penyakit patologi retina, semisal DR. Oleh karena itu, segmentasi pembuluh darah sangat penting dan bermanfaat untuk mendeteksi dan mendiagnosis penyakit tersebut.

Kata kunci— citra retina digital, pembuluh darah retina, segmentasi, *phase stretch transform*.

ABSTRACT

Retinal fundus images are commonly used in most eye examinations, including retinal blood vessel segmentation, to acquire information that is helpful in the clinical diagnosis of various eye disorders; one of them is diabetic retinopathy (DR). DR is one of the health complications in diabetic patients. The most severe cases of DR are indicated by the emersion of new retinal blood vessels (neovascularization). Retinal blood vessel segmentation commonly encounters issues in lighting variations during imaging, resulting in low-contrast and high-noise retinal fundus images. Even though many researchers have proposed different methods for segmenting retinal blood vessels, the performance of their methods, especially the sensitivity score, still needs to be improved. Besides, advances in fundus camera technology resulted in high-resolution images, while the image processing methods were usually developed and tested with low-resolution images, demonstrating limitations in clinical use.

Thus, an image segmentation method for retinal blood vessels using the Phase Stretch Transform (PST)-based approach is proposed to overcome these issues. The novelty of the research includes an improved scheme in pre-processing and post-processing steps. The original method used a Gaussian low pass filter in the pre-processing stage, and in the post-processing stage, thresholding, morphology thinning, and isolated pixel removal methods were applied. In this research, development was carried out in the pre-processing section, including green channel selection, non-local means filter for noise reduction, contrast enhancement using the Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) method, and median filter to reduce salt and pepper noise. Meanwhile, in the post-processing section, CLAHE, median filter, Otsu thresholding to obtain a binary image, morphological operations (remove small objects), and closing are applied. High-resolution retinal images used in the research were obtained from a public dataset, namely the HRF (High-Resolution Fundus) Image Database. Statistical evaluations were performed to assess whether there was a statistical difference between the proposed and the initial method. A normality test using the Lilliefors method was conducted beforehand to investigate whether the samples were taken from a normally distributed population, followed by the t-test evaluation.

The proposed method demonstrates contributions in enhancing retinal blood vessel segmentation performance. According to the test results, the proposed method has average sensitivity, specificity, and accuracy scores of 0.813, 0.936, and 0.926, respectively. Compared to the initial (pre-developed) method test results, the sensitivity, specificity, and accuracy scores are increased by 0.381, 0.287, and 0.294, respectively. Based on statistical evaluations with a confidence level of 0.95 ($\alpha = 0.05$) and p-value < 0.001 , a statistical difference is demonstrated between the performance results of the proposed and the initial methods. The average sensitivity value of previous segmentation methods used as a reference is 0.679, so it needs to be improved. The proposed method produces a sensitivity value of 0.813, showing a significant increase, namely 0.134. Meanwhile, the specificity and accuracy values can be maintained above 0.9. These findings revealed the high potentiality of the proposed method in clinically diagnosing various eye diseases. Sensitivity shows the algorithm's ability to detect blood vessel pixels. The structure of retinal blood vessels contains crucial information that helps detect and treat various retinal pathological diseases, such as DR. Therefore, blood vessel segmentation is essential and valuable for detecting and diagnosing these diseases.

Keywords— digital retinal fundus image, retinal blood vessel, segmentation, phase stretch transform