

# Ulasan Deteksi *Retinal Hemorrhages* pada Citra Fundus Retina

Vesi Yulyanti<sup>1</sup>, Hanung Adi Nugroho<sup>2</sup>, Igi Ardiyanto<sup>3</sup>

Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi

Universitas Gadjah Mada

Jalan Grafika No.2 Bulak Sumur, Yogyakarta 55281, Indonesia

<sup>1</sup>vesi.yulyanti@mail.ugm.ac.id, <sup>2</sup>adinugroho@ugm.ac.id, <sup>3</sup>igi@ugm.ac.id

**Abstract**— Diabetic Retinopathy (DR) became the fourth-largest cause of blindness worldwide after cataract, glaucoma and macular degeneration. Detection of hemorrhages is usually done manually by an ophthalmologist. To assist the detection process, method of automatic detection then developed by the researchers. This paper contains reviews of several methods used in the detection of hemorrhages. Commonly, the stages of hemorrhages detection include preprocessing, red lesion detection, and hemorrhages extraction. There is no deeper analysis to figure out which method is best. However, we recommend algorithm based on shape features as a detection method that provides best result with fast computation time.

**Keywords**—Retinal hemorrhages, citra fundus, diabetic retinopathy, red lesion

**Intisari**— Retinopati Diabetik (RD) menempati urutan keempat sebagai penyebab terbesar terjadinya kebutaan diseluruh dunia setelah katarak, glaukoma dan degenerasi makula. Deteksi hemorrhages biasanya dilakukan secara manual oleh dokter mata. Untuk membantu proses deteksi, maka dikembangkan metode deteksi otomatis oleh para peneliti. Paper ini berisi ulasan beberapa metode yang digunakan dalam deteksi hemorrhages. Secara umum tahapan deteksi hemorrhages mencakup prapengolahan, deteksi lesi merah dan ekstraksi hemorrhages. Tidak ada analisis lebih dalam untuk menyimpulkan metode mana yang terbaik. Namun kami menyarankan algoritma berbasis ciri bentuk sebagai metode deteksi yang memberikan hasil terbaik dengan waktu komputasi yang cepat.

**Kata kunci**; Hemorrhages retina, citra fundus, retinopati diabetik, lesi merah

## I. PENDAHULUAN

Berdasarkan data *World Health Organisation* (WHO) tahun 2005, ada sebanyak 171 juta jiwa yang mengidap diabetes pada tahun 2000. Jumlah ini diperkirakan akan meningkat menjadi dua kali lipat pada tahun 2030 yaitu sebanyak 366 juta jiwa. 4,8% dari 37 kasus kebutaan disebabkan oleh RETINOPATI DIABETIK yaitu sebanyak 1.8 juta kasus. 13% Retinopati Diabetik ditemukan pada penderita diabetes tipe I yang telah mengidap selama < 5 tahun, dan meningkat hingga 90% setelah 10 tahun. 24-40% Retinopati Diabetik ditemukan pada penderita diabetes tipe dua yang telah mengidap selama < 5 tahun dan meningkat hingga 53-48% setelah 15-20 tahun. Faktanya adalah, 50% penderita diabetes tidak menyadari kondisi mereka [1].

Penderita Retinopati Diabetik seringkali tidak menyadari keberadaan penyakit ini dikarenakan pada tahap awal Retinopati Diabetik biasanya tidak menunjukkan gejala apapun. Penyakit ini terus berkembang hingga memberi dampak pada penglihatan [2]. Ketika telah terjadi perubahan yang mengganggu penglihatan, pasien baru memeriksakan kondisinya kepada dokter mata. Pada kondisi ini biasanya Retinopati Diabetik telah berada pada tingkat yang parah. Untuk mengurangi resiko terjadinya kebutaan pada penderita Retinopati Diabetik, perlu dilakukan pemeriksaan sedini mungkin. Pemeriksaan akan dilakukan secara manual oleh dokter mata, yaitu dengan menandai bagian dari retina yang memiliki kelainan. Hal ini tentu saja akan menyita cukup banyak waktu. Hasil pemeriksaan pun tergantung pada keahlian Dokter dalam mendiagnosis sehingga diperlukan metode lain yang dapat melakukan diagnosis secara cepat, akurat, dan objektif.

Mendeteksi gejala Retinopati Diabetik, dalam hal ini adalah hemorrhages, memiliki beberapa kendala diantaranya adalah setiap area dari hemorrhages tersebar pada daerah yang berbeda-beda, bentuk dan ukurannya kecil, masing-masing bentuk dan ukuran tidak sama, kemiripan ciri dengan mikroaneurisma serta merupakan tipikal yang kontras rendah. Untuk itu diperlukan sebuah metode yang tepat untuk dapat menyelesaikan permasalahan-permasalahan tersebut.

## II. METODOLOGI

Secara umum, tahapan proses yang dilalui untuk mendeteksi *hemorrhages* mencakup akuisisi citra, prapengolahan, deteksi lesi merah, deteksi pembuluh darah, eliminasi pembuluh darah dan ekstraksi *hemorrhages*.

### A. Akuisisi Citra

Langkah pertama dalam proses pengolahan citra adalah menentukan citra yang akan diolah. Citra retina dapat diperoleh secara langsung dengan mengambil foto retina atau mengunduh dari database yang sudah tersedia secara umum. Beberapa database citra retina yang umum digunakan antara lain sebagai berikut:

- *Diaretdb0*[3]: Database dari ImageRet ini terdiri dari 130 citra retina. 20 citra normal dan 110 citra dengan ciri retinopati diabetik (eksudat keras, exudat lunak, mikronanelitin, perdarahan dan neovaskularisasi). Citra diambil menggunakan kamera fundus digital level 50 derajat dengan pengaturan yang tidak diketahui. Pengaturan kamera tidak diketahui. Data dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja umum metode

diagnosis. Kumpulan dari data ini disebut “citra kalibrasi 0 fundus”. Beberapa peneliti yang menggunakan database ini dalam penelitian mereka diantaranya [4] [5] [6] [7]

- *Diaretdb1*[8]: Dalam database ini terdapat 89 citra fundus berwarna yang mengandung setidaknya 84 citra dengan ciri non-proliferasi ringan dari retinopati diabetik dan 5 citra yang dianggap normal (tidak mengandung ciri retinopati diabetik. Citra diambil menggunakan kamera fundus digital level 50 derajat dengan berbagai pengaturan. Data dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja umum metode diagnostic. Kumpulan dari data ini disebut “citra fundus kalibrasi tingkat 1”. Beberapa peneliti yang menggunakan database ini dalam penelitian mereka diantaranya [4] [5] [6] [9] [10] [11]
- *MESSIDOR (Methods to evaluate segmentation and indexing techniques in the field of retinal ophthalmology)*[12]: Ada 1200 citra dalam database Messidor yang diperoleh dari 3 departemen oftalmologi menggunakan kamera video berwarna dengan resolusi 1440\*960, 2240\*1488 atau 2304\*1536 piksel. Beberapa peneliti yang menggunakan database ini dalam penelitian mereka diantaranya [4] [5] [13] [14].
- *STARE (STRUCTURED Analysis of the Retina)* [15]: Proyek STARE disusun dan dimulai pada tahun 1975 oleh Michael Goldbaum, M.D., di University of California, San Diego. Selama sejarahnya, lebih dari tiga puluh orang berkontribusi pada proyek ini, dengan latar belakang mulai dari kedokteran, sains hingga teknik. Gambar dan data klinis disediakan oleh Shiley Eye Center di University of California, San Diego, dan oleh Veterans Administration Medical Center di San Diego. Dalam situsnya, tersedia 400 citra mentah yang bisa diunduh. Beberapa peneliti yang menggunakan database ini dalam penelitian mereka diantaranya [6].
- *DRIVE (Digital Retinal Images for Vessel Extraction Introduction)*[16]: Citra dalam database DRIVE diperoleh dari hasil skrining retinopati diabetik di Negara Belanda. Jumlah populasi skrining terdiri dari 400 subjek diabetes berusia antara 25-90 tahun.

### B. Prapengolahan

Prapengolahan merupakan proses awal yang dilakukan untuk meningkatkan kualitas citra sehingga informasi yang ingin diperoleh dari citra bisa akurat. Beberapa hal penting yang dilakukan dalam tahapan ini di antaranya menghilangkan *noise*, perbaikan kontras citra, transformasi citra atau menentukan bagian yang akan diobservasi (menentukan ROI).

Beberapa peneliti menggunakan teknik berbeda dalam proses prapengolahan. Beberapa teknik yang sering digunakan diantaranya:

- *Ekstraksi Kanal Hijau*: Pada citra retina, hemorrhages ditandai dengan warna merah. Ekstraksi kanal hijau dilakukan karena hemorrhages memiliki kontras yang paling terang dengan background-nya dibandingkan kanal merah dan kanal biru. Dengan alasan yang sama, [10] [17] [18] [19] [9] [4] [20] [7] [21] [22] [23] [24] mengekstraksi kanal hijau dari citra RGB retina pada tahap prapengolahan sehingga informasi dari kanal merah dan kanal biru tidak digunakan.
- *Histogram Equalization*: ekualisasi histogram merupakan metode yang digunakan memperoleh histogram yang tersebar rata pada citra [25]. Setelah Thammisirak dkk [9] *me-resize* citra dari database DIARETDB1 menjadi 640x480 piksel dan mengekstrak kanal hijau, algoritma CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*), yang merupakan pengembangan dari operasi ekualisasi histogram, kemudian diterapkan untuk mengurangi *noise* [20] dan memperbaiki kontras yang rendah [21] [26] [27] [28] [5]. Pandey dkk [10] menggunakan AHE (*Adaptive Histogram Equalization*) untuk memperbaiki kontras dan menghilangkan background setelah mengekstrak kanal hijau.
- *Filter Median*: salah satu tujuan digunakannya filter median adalah untuk menghilangkan derau bintik-bintik pada citra [29]. Beberapa peneliti [4] [6] [20] [23] [10] [5] [30] [31] telah menerapkan filter median ini untuk perbaikan citra.

### C. Deteksi dan Ekstraksi Lesi Merah

Mendeteksi lesi merah merupakan proses deteksi kandidat hemorrhages, dimana hemorrhages merupakan komponen yang memiliki warna merah pada citra fundus retina. Selain hemorrhages, pembuluh darah dan mikroaneurisma juga akan terdeteksi pada proses ini.

Shivaram [30] Menggunakan metode aritmatika citra dan morfologi matematis untuk mendeteksi hemorrhages dan menyamakan pembuluh darah. Niemeijer [18] mendeteksi lesi merah berdasarkan klasifikasi piksel kemudian mengekstrak lesi merah menggunakan metode morfologi. Oleh Zhang dkk [19], Kandidat hemorrhages dideteksi dengan mengestimasi background. Secara umum citra retina yang normal terdiri dari background, pembuluh darah, optik disk dan fovea. Apabila terdapat retinopati, lesi cerah dan gelap akan terlihat kontras dengan background-nya. Selain background, semua objek tadi dapat dilihat sebagai foreground. Objek foreground yang berwarna gelap dikategorikan menjadi 3 kelas yaitu hemorrhages dan fovea, pembuluh darah serta mikroaneurisma.

Jaafar dkk [4] yang mengekstraksi kandidat lesi merah menggunakan teknik morfologi lalu dipisahkan dari pembuluh darah kemudian diklasifikasi untuk membuang artefak. Untuk mengekstrak lesi merah, dihitung rasio, piksel, kebulatan, keanehan, rerata intensitas dan deviasi standar dari kandidat lesi merah yang terdeteksi untuk kemungkinan adanya lesi merah palsu yang terdeteksi.

Kande dkk [6] mendeteksi menggunakan match filter dan operasi morfologi transformasi top-hat kemudian mengekstraksi lesi merah menggunakan metode morfologi.

Pandey dkk [10] mengekstrak lesi merah dari citra biner menggunakan parameter area, perimeter dan eksentrisitas. Area dan perimeter lesi merah jauh lebih kecil dari area pembuluh darah, oleh karena itu lesi merah dipisahkan dari pembuluh darah menggunakan parameter area dan perimeter

Tang dkk [32] menggunakan algoritma *watershed* untuk mensegmentasi *splat*. Dilakukan dua tahapan untuk mempertahankan batas *splat* yang diinginkan. Pertama menjumlahkan *gradient magnitude* dari citra yang telah diperbaiki kontrasnya, kemudian gradien maksimum diambil untuk mengoperasikan segmentasi watershed. Kumar dan Atlas [33] menggunakan pendekatan Neural network terbimbing untuk mendeteksi hemorrhages berdasarkan klasifikasi piksel lalu mengekstrak lesi merah dengan menghitung vektor ciri pada citra yang telah diperbaiki pada tahap prapengolahan.

Garcia dkk [34], Multi Layer Perceptron Neural Network untuk mendeteksi lesi merah. Ciri yang diekstrak fokus pada karakteristik yang dapat membantu dokter mata untuk bisa membedakan lesi merah dan yang bukan lesi merah diantaranya berdasarkan *aspek ratio*, kepadatan wilayah, kekuatan batas wilayah, ukuran wilayah, homogenitas wilayah, kebulatan dan keanehan bentuk hemorrhages. Seoud [35] menghitung atribut relative area, pemanjangan, keanehan, bentuk bundar, bentuk persegi dan kepadatan dari masing-masing kandidat untuk mengekstrak kandidat lesi merah.

#### D. Deteksi dan Eliminasi Pembuluh Darah

Karena pembuluh darah memiliki kemiripan warna dengan hemorrhages, maka ketika proses deteksi lesi merah, secara otomatis pembuluh darah akan ikut terdeteksi. Namun dalam proses deteksi ini, pembuluh darah dianggap sebagai objek yang terlalu besar (>300 piksel) sehingga objek ini dibuang.

Thammasirirak [9] mengeliminasi pembuluh darah yang terdeteksi dengan cara mengurangi citra enhanced yang dibinerisasi dengan citra yang hanya berisi pembuluh darah. Setelah mendeteksi lesi merah, [19] pembuluh darah dikeluarkan dengan metode shape analysis untuk membedakannya dengan hemorrhages dan mikroaneurisma. Jaafar [4] mengaplikasikan operasi morfologi opening pada citra prapengolahan sebanyak dua kali menggunakan skala struktur elemen disk-shape yang berbeda untuk menyisihkan ciri pembuluh darah. Pandey [10] mengekstraksi pembuluh darah dari citra retina dengan mengurangi histogram citra yang diekualisasi dengan reratanya.

#### E. Klasifikasi

Setelah melalui proses ekstraksi ciri, Tang dkk [32] selanjutnya mengklasifikasi *splat* menggunakan KNN classifier untuk memisahkan *splat hemorrhages* dan *non-hemorrhages*. Seoud [35] Mengklasifikasi lesi merah dan yang bukan lesi merah dengan *Random Forest Classifier*. Kumar [33] mengklasifikasi ciri menggunakan ANFIS

dan Jaafar [4] Mengklasifikasi lesi merah dan artifak menggunakan *Rule-Based Classifier*.

Kande [6] mengklasifikasi area lesi merah dan area yang bukan lesi merah menggunakan SVM dan Garcia [34] menggunakan *Multi Layer Perceptron classifier* untuk mengklasifikasi lesi merah.

### III. HASIL

Hasil dari metode-metode yang digunakan tersebut, lalu kami dibandingkan satu sama lain. Parameter yang paling sering digunakan ialah sensitifity dan specificity.

Metode yang diusulkan oleh Jaafar dkk [4] diuji pada 219 citra dari tiga dataset yang berbeda yaitu MASSIDOR, DIARETDB1 dan DIARETDB0. Lesi merah dapat dideteksi dengan sensitifity 89.7% dan specificity 98.6%.

Kande dkk [6] menguji algoritmanya pada 89 citra. 54 citra diperoleh dari rumah sakit mata, 35 lainnya diambil secara acak dari tiga dataset berbeda (Stare, DiaretDB0 dan DiaretDB1). Diperoleh sensitifity 100% dan specificity 91%.

Pandey [10] menguji algoritma yang diusulkan pada 120 citra dari dataset diaretdb1 dan citra yang diperoleh dari rumah sakit lokal. Nilai rerata sensitifity yang diperoleh adalah 96,49% dan specificity 99,91%. Waktu rerata komputasi ialah 0,96 detik menggunakan CPU@2.60 GHZ, 4GB RAM, Sistem Operasi 64-Bit.

Pengujian dari metode yang diusulkan oleh Niemeijer [18] dilakukan pada citra yang terdapat lesi merah dan hasil yang diperoleh ialah sensitifity 100%, specificity 87%.

kNN classifier Tang dkk [32] diaplikasikan pada *splat* yang diperoleh dari 900 citra. Masing-masing *splat* mewakili 19 vektor ciri dimensi yang ternormalisasi. Nilai k yang berbeda diuji pada rentang 21 hingga 151 baik pada seleksi ciri maupun pada klasifikasi.

Metode yang diusulkan oleh Seoud dkk [35] divalidasi per-lesi dan per-citra menggunakan enam dataset. Empat diantaranya tersedia untuk publik. Pada dataset RETINOPATHY ONLINE CHALLENGE (ROCh), metode yang diusulkan mencapai angka 0.42 untuk score FROC. Pada dataset MESSIDOR, area dibawah kurva ROC mencapai 0.899 dengan waktu komputasi bervariasi antara 4 detik hingga 5 menit menggunakan CPU Intel Core i5-2400 pada 3.10GHz, tanpa komputasi paralel.

Shivaram [30] membandingkan hasil deteksi *hemorrhages* menggunakan metode yang diusulkan dengan data *ground thruth* piksel per piksel. Algoritma dievaluasi dengan menghitung nilai sensitifity, specificity dan nilai ekspektasi. Secara keseluruhan, hasil yang diperoleh ialah sensitifity 89.49%, specificity 99.89% dan nilai ekspektasi 98.34%.

Dari 100 citra dengan warna, kecerahan dan kualitas berbeda, Garcia dkk [34] menggunakan 50 citra untuk sample data latih MLP classifier, 50 sisanya digunakan untuk menguji performa metode. Dengan menggunakan *lesion based criterion*, diperoleh rerata sensitifity 86.1% dan PPV 71.4%. sedangkan dengan *image based criterion*

diperoleh rerata sensitifity 100%, rerata specificity 0% dan rerata akurasi 80%. 21 citra dipilih sebagai citra hemorrhages dari beberapa dataset seperti diaretddb0, ROC dan University Medical Center Groningen (UMCG). Kemudian 30 citra normal juga dipilih sebagai dataset citra normal. Metode diujikan dan memberikan hasil sensitivity 91.3% dan specificity 81.6%.

#### IV. DISKUSI

Dalam makalah ini, kami membahas tentang metode deteksi hemorrhages pada citra fundus retina yang dimulai dari akuisisi citra, prapengolahan, deteksi dan ekstraksi lesi merah, deteksi dan eliminasi pembuluh darah serta klasifikasi.

Parameter pengukuran yang sering digunakan adalah sensitifity dan specificity. Sensitifity merupakan kejadian benar yang dideteksi benar. Sedangkan specificity merupakan kejadian salah yang dideteksi salah.

Berdasarkan metode deteksi yang telah dijabarkan dalam makalah ini, metode yang menghasilkan nilai sensitifity tertinggi adalah metode deteksi menggunakan *mathced filter* yang diusulkan oleh kande dkk [6] dan metode operasi morfologi yg diusulkan oleh Niemeijer dkk [18] yaitu 100%. Namun kelemahan dari sistem [18] ini ialah hasil sensitifity akan berbeda apabila dalam satu citra terdapat lesi yang lebih banyak dari citra yang lain. Sehingga untuk sistem ini tidak diperlukan sensitivitas lesi yang terlalu tinggi.

Metode deteksi menggunakan algoritma berbasis *shape* yang diusulkan oleh Pandey [10] memberikan nilai specificity tertinggi yaitu sebesar 99,91% dengan waktu komputasi yang cukup singkat yaitu rerata 0,96 detik. Meskipun nilai sensitifity yang diberikan bukanlah 100% melainkan 96,49%, namun hasil ini cukup akurat dengan pertimbangan waktu komputasi yang cepat. Hambatan umum dalam deteksi hemorrhages biasanya adalah kemiripan warna dengan pembuluh darah. Sehingga pada proses deteksi lesi merah, pembuluh darah ikut juga terdeteksi. Hambatan lainnya adalah perbedaan kualitas citra berdasarkan resolusi, tingkat kecerahan dan kontras. Karena sistem ini berbasis ciri bentuk, maka hambatan-hambatan tersebut bukan lagi masalah.

#### V. KESIMPULAN

Makalah ini mengevaluasi metode-metode yang digunakan untuk mendeteksi hemorrhages. Setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan tergantung pada kondisi dan kebutuhan masing-masing peneliti. Dalam makalah ini tidak ada diskusi yang lebih dalam untuk menentukan mana metode terbaik. Namun kami menyarankan algoritma berbasis ciri bentuk sebagai metode deteksi yang menghasilkan sensitifity 96, 49% dan spesificity 99,91% dengan rerata waktu komputasi 0,96 detik. Untuk penelitian berikutnya masih ada ruang lingkup untuk meningkatkan sensitifity algoritma tanpa mengorbankan spesificity dan waktu komputasi.

#### REFERENCES

- [1] World Health Organization, "Prevention of blindness from diabetes mellitus," 2005.
- [2] National Eye Institute, "Diabetic Retinopathy: What You Should Know," *Joslin Diabetes Cent.*, 2015.
- [3] T. Kauppi, V. Kalesnykiene, J. Kamarainen, L. Lensu, and I. Sorri, "DIARETDB0: Evaluation Database and Methodology for Diabetic Retinopathy Algorithms," *Mach. Vis. Pattern Recognit. Res. Group, Lappeenranta Univ. Technol. Finland.*, pp. 1–17, 2006.
- [4] H. F. Jaafar, A. K. Nandi, and W. Al-Nuaimy, "Automated detection of red lesions from digital colour fundus photographs," in *2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2011, pp. 6232–6235.
- [5] P. Bharali, J. P. Medhi, and S. R. Nirmala, "Detection of hemorrhages in diabetic retinopathy analysis using color fundus images," *2015 IEEE 2nd Int. Conf. Recent Trends Inf. Syst. ReTIS 2015 - Proc.*, pp. 237–242, 2015.
- [6] G. B. Kande, T. S. Savithri, and P. V. Subbaiah, "Automatic detection of microaneurysms and hemorrhages in digital fundus images," *J. Digit. Imaging*, vol. 23, no. 4, pp. 430–437, 2010.
- [7] V. M. Mane, D. V. Jadhav, and A. Bansod, "An automatic approach to Hemorrhages detection," in *2015 International Conference on Information Processing (ICIP)*, 2015, pp. 135–138.
- [8] T. Kauppi *et al.*, "DIARETDB1 diabetic retinopathy database and evaluation protocol," *Proceedings Br. Mach. Vis. Conf. 2007*, p. 15.1-15.10, 2007.
- [9] S. Thammasirak, J. Siritptawee, N. Sattayasai, and P. Indrakamhang, "Automatic Detection of Microaneurysms Ang Haemorrhages in Color Eye Fundus Images," *Int. J. Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 5, no. 5, pp. 21–37, 20013.
- [10] A. Pandey, R. Chandra, M. K. Dutta, R. Burget, V. Uher, and J. Minar, "Automatic detection of red lesions in Diabetic Retinopathy using Shape based extraction technique in fundus image," in *2016 39th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, 2016, pp. 538–542.
- [11] N. Kleawsirikul, S. Gulati, and B. Uyyanonvara, "Automated Retinal Hemorrhage Detection Using Morphological Top Hat and Rule-based Classification," in *3rd International Conference on Intelligent Computational Systems*, 2013, pp. 39–43.
- [12] E. Decencière *et al.*, "Feedback on a publicly distributed image database: The Messidor database," *Image Anal. Stereol.*, vol. 33, no. 3, pp. 231–234, 2014.
- [13] D. Popescu, L. Ichim, and T. Caramihale, "Detection of exudates and hemorrhages using an efficient criterion for feature selection," in *2016 39th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, 2016, pp. 711–715.
- [14] L. Tang, M. Niemeijer, J. M. Reinhardt, M. K. Garvin, and M. D. Abramoff, "Splat Feature Classification With Application to Retinal Hemorrhage Detection in Fundus Images," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 32, no. 2, pp. 364–375, Feb. 2013.
- [15] Hoover, "STARE: STructured Analysis of the Retina." [Online]. Available: <http://cecas.clemson.edu/~ahoover/stare/>.

- [16] "DRIVE: Digital Retinal Images for Vessel Extraction Introduction." [Online]. Available: <http://www.isi.uu.nl/Research/Databases/DRIVE/>.
- [17] E. Grisan and A. Ruggeri, "Segmentation of candidate dark lesions in fundus images based on local thresholding and pixel density," in *2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2007, pp. 6735–6738.
- [18] M. Niemeijer, B. Van Ginneken, J. Staal, M. S. A. Suttorp-Schulten, and M. D. Abramoff, "Automatic detection of red lesions in digital color fundus photographs," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 24, no. 5, pp. 584–592, 2005.
- [19] D. Zhang, X. Li, X. Shang, Y. Yi, and Y. Wang, "Robust hemorrhage detection in diabetic retinopathy image," in *The First Asian Conference on Pattern Recognition*, 2011, pp. 209–213.
- [20] R. E. Putra, H. Tjandrasa, and N. Suciati, "Hemorrhage segmentation using mathematical morphology and digital image processing," in *Proceedings of International Conference on Information, Communication Technology and System (ICTS) 2014*, 2014, pp. 141–146.
- [21] A. Sharma, M. K. Dutta, A. Singh, M. Parthasarathi, and C. M. Travieso, "Dynamic thresholding technique for detection of hemorrhages in retinal images," in *2014 7th International Conference on Contemporary Computing, IC3 2014*, 2014, pp. 113–116.
- [22] K. K. Shanthi.Y1 and Karpagam.V, "Automatic Detection of Retinal Hemorrhage Based on Gabor Wavelet and Hybrid Knnsvm Algorithm for Fundus," *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 50–57, 2014.
- [23] P. N. S. Kumar, R. R. Kumar, A. Sathar, and V. Sahasranamam, "Automatic detection of red lesions in digital color retinal images," in *Proceedings of 2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics, IC3I 2014*, 2014, pp. 1148–1153.
- [24] Y. Hatanaka, T. Nakagawa, Y. Hayashi, T. Hara, and H. Fujita, "Improvement of automated detection method of hemorrhages in fundus images," *Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, pp. 5429–5432, 2008.
- [25] A. Kadir and A. Susanto, "Operasi Pikel dan Histogram," *Pengolah. Citra Teor. dan Apl.*, pp. 44–70, 2012.
- [26] R. Srivastava, D. W. K. Wong, L. Duan, J. Liu, and T. Y. Wong, "Red lesion detection in retinal fundus images using Frangi-based filters," in *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 2015, pp. 5663–5666.
- [27] M. F. Hashim and S. Z. M. Hashim, "Diabetic retinopathy lesion detection using region-based approach," in *2014 8th. Malaysian Software Engineering Conference (MySEC)*, 2014, pp. 306–310.
- [28] J. P. Bae, K. G. Kim, H. C. Kang, C. B. Jeong, K. H. Park, and J. M. Hwang, "A study on hemorrhage detection using hybrid method in fundus images," *J. Digit. Imaging*, vol. 24, no. 3, pp. 394–404, 2011.
- [29] A. Kadir and A. Susanto, "Operasi Ketetangaan Pikel," in *Pengolahan Citra; Teori dan Aplikasi*, 2013, pp. 73–126.
- [30] J. M. Shivaram, R. Patil, and H. S. Aravind, "Automated Detection and Quantification of Haemorrhages in Diabetic Retinopathy Images Using Image Arithmetic and Mathematical Morphology Methods," *Int. J. Recent Trends Eng.*, vol. 2, no. 6, pp. 174–176, 2009.
- [31] T. P. Karnowski, V. P. Govindasamy, K. W. Tobin, E. Chaum, and M. D. Abramoff, "Retina lesion and microaneurysm segmentation using morphological reconstruction methods with ground-truth data," in *2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2008, pp. 5433–5436.
- [32] L. Tang, M. Niemeijer, J. M. Reinhardt, M. K. Garvin, and M. D. Abramoff, "Splat feature classification with application to retinal hemorrhage detection in fundus images," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 32, no. 2, pp. 364–375, 2013.
- [33] P. Kumar and L. G. Atlas, "An Efficient Method for Retinal Hemorrhages Detection in Fundus Images Using Anfis and Cross Section Profile Analysis," *Middle-East J. Sci. Res.*, vol. 23, no. 10, pp. 2484–2492, 2015.
- [34] M. Garcia, C. I. Sánchez, M. I. López, A. Díez, and R. Hornero, "Automatic detection of red lesions in retinal images using a multilayer perceptron neural network," in *Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference*, 2008, pp. 5425–8.
- [35] L. Seoud, T. Hurtut, J. Chelbi, F. Cheriet, and J. M. P. Langlois, "Red Lesion Detection Using Dynamic Shape Features for Diabetic Retinopathy Screening," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 35, no. 4, pp. 1116–1126, Apr. 2016.