

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Diabetes melitus merupakan salah satu penyakit metabolik kronis yang prevalensinya terus meningkat secara global dan menjadi masalah kesehatan masyarakat yang serius. International Diabetes Federation melaporkan bahwa jumlah penderita diabetes di dunia telah melampaui setengah miliar orang dan diperkirakan akan terus meningkat dalam beberapa dekade mendatang. Salah satu komplikasi paling serius dari diabetes melitus adalah *Diabetic retinopathy* (DR), yaitu gangguan mikrovaskular pada retina yang dapat menyebabkan gangguan penglihatan permanen hingga kebutaan apabila tidak dideteksi dan ditangani secara dini. *Diabetic retinopathy* saat ini diakui sebagai penyebab utama kebutaan pada usia produktif, baik di negara maju maupun berkembang.

Secara klinis, *Diabetic retinopathy* berkembang secara bertahap dan sering kali tidak menunjukkan gejala pada tahap awal, sehingga banyak pasien baru menyadari penyakit ini ketika telah memasuki stadium lanjut. Gettinger et al., (2025) menjelaskan bahwa kerusakan retina pada penderita diabetes dipicu oleh hiperglikemia kronis yang menyebabkan disfungsi endotel pembuluh darah, penebalan membran basal, peningkatan permeabilitas kapiler, serta oklusi mikrovaskular. Kondisi tersebut menimbulkan iskemia retina yang selanjutnya merangsang pelepasan faktor angiogenik seperti *vascular endothelial growth factor* (VEGF), yang berperan penting dalam pembentukan pembuluh darah abnormal pada stadium *Proliferative*.

Berdasarkan tingkat keparahannya, *Diabetic retinopathy* diklasifikasikan menjadi *Non-Proliferative Diabetic retinopathy* (NPDR) dan *Proliferative Diabetic retinopathy* (PDR). Pada tahap NPDR, perubahan retina ditandai dengan munculnya *microaneurysms*, perdarahan intraretinal (*haemorrhage*), eksudat keras, serta kelainan vena. Apabila tidak dilakukan intervensi, kondisi ini dapat berkembang menjadi PDR yang ditandai dengan

neovascularization, yaitu pertumbuhan pembuluh darah baru yang rapuh dan mudah pecah, sehingga meningkatkan risiko perdarahan vitreus dan ablasi retina yang berujung pada kehilangan penglihatan permanen (Gettinger et al., 2025).

Deteksi dini *Diabetic retinopathy* sangat penting untuk mencegah progresivitas penyakit dan mengurangi risiko kebutaan. Namun, dalam praktik klinis, diagnosis DR masih sangat bergantung pada pemeriksaan manual citra fundus oleh dokter mata. Skouta et al., (2022) menyatakan bahwa proses pemeriksaan manual memerlukan waktu, pengalaman klinis yang tinggi, serta sumber daya manusia yang besar. Selain itu, ukuran lesi yang kecil, variasi bentuk dan warna, serta kualitas citra fundus yang tidak seragam sering kali menyebabkan kesalahan diagnosis atau keterlambatan penanganan.

Keterbatasan jumlah dokter spesialis mata, khususnya di negara berkembang, semakin memperbesar tantangan dalam pelaksanaan skrining massal *Diabetic retinopathy*. Mahmood et al. (2023) menegaskan bahwa beban skrining DR secara manual sangat tinggi dan tidak sebanding dengan ketersediaan tenaga medis, sehingga diperlukan sistem deteksi otomatis berbasis citra fundus yang mampu membantu proses diagnosis secara cepat, objektif, dan konsisten.

Seiring dengan berkembangnya teknologi pengolahan citra dan kecerdasan buatan, berbagai pendekatan telah diusulkan untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan *Diabetic retinopathy* secara otomatis. Metode berbasis *image processing* tradisional memanfaatkan tahapan *preprocessing*, segmentasi, ekstraksi fitur, dan klasifikasi untuk mengidentifikasi lesi khas DR pada citra fundus. Lesi-lesi seperti *microaneurysms*, *haemorrhages*, eksudat, dan perubahan struktur pembuluh darah menjadi indikator visual utama dalam proses diagnosis (Mahmood et al., 2023).

Segmentasi pembuluh darah retina merupakan salah satu tahapan penting dalam analisis citra fundus karena struktur vaskular retina sangat dipengaruhi oleh *Diabetic retinopathy*. Shah et al., (2024) menjelaskan bahwa perubahan morfologi dan kepadatan pembuluh darah dapat mencerminkan tingkat

keparahan penyakit. Oleh karena itu, segmentasi pembuluh darah yang akurat menjadi dasar penting untuk analisis lanjutan, baik dalam ekstraksi fitur maupun klasifikasi DR.

Selain pembuluh darah, deteksi lesi kecil seperti *microaneurysms* dan *haemorrhages* juga menjadi tantangan utama karena ukurannya yang sangat kecil dan kontrasnya yang rendah terhadap latar belakang retina. Skouta et al., (2022) menekankan bahwa kesulitan utama dalam segmentasi lesi retina adalah variasi bentuk, ukuran, dan intensitas lesi, serta gangguan pencahayaan yang tidak seragam pada citra fundus. Hal ini menuntut metode yang mampu mengekstraksi informasi tekstur dan spasial secara efektif.

Dalam konteks ekstraksi fitur, pendekatan berbasis tekstur telah banyak digunakan untuk merepresentasikan karakteristik lesi *Diabetic retinopathy*. Costaner et al., (2024) menunjukkan bahwa fitur tekstur seperti *Local Binary Pattern* (LBP) dan *wavelet transform* mampu menangkap pola lokal dan *multi-scale* pada citra retina, yang kemudian dapat diklasifikasikan menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Selain metode tradisional, pendekatan *deep learning* juga semakin banyak digunakan dalam analisis citra fundus. Mahmood et al., (2023) mengusulkan metode hibrid yang menggabungkan pengolahan citra morfologis dengan jaringan saraf dalam untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan berbagai stadium *Diabetic retinopathy*. Meskipun *deep learning* menunjukkan performa yang tinggi, metode ini umumnya memerlukan data berukuran besar, sumber daya komputasi tinggi, serta sulit diinterpretasikan secara klinis.

Gu et al., (2023) menambahkan bahwa perbedaan antar kelas *Diabetic retinopathy* sering kali sangat halus, terutama pada stadium berdekatan, sehingga meningkatkan risiko kesalahan klasifikasi. Oleh karena itu, pemilihan fitur yang representatif serta metode klasifikasi yang *robust* menjadi faktor krusial dalam pengembangan sistem diagnosis otomatis berbasis citra fundus.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa *Diabetic retinopathy* merupakan penyakit dengan dampak klinis yang sangat serius dan memerlukan deteksi dini yang akurat. Keterbatasan diagnosis manual mendorong pengembangan sistem deteksi otomatis berbasis citra fundus yang memanfaatkan segmentasi lesi, ekstraksi fitur, dan algoritma *machine learning*. Penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan bahwa analisis pembuluh darah, *microaneurysms*, *haemorrhages*, serta fitur tekstur memiliki peran penting dalam klasifikasi *Diabetic retinopathy*. Oleh karena itu, penelitian yang berfokus pada pengolahan citra fundus retina dengan pendekatan yang efisien, *interpretable*, dan akurat sangat relevan untuk mendukung upaya skrining dan diagnosis dini *Diabetic retinopathy*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menerapkan proses pra-pengolahan (*pre-processing*) citra fundus agar kualitas citra meningkat dan lebih siap untuk proses segmentasi fitur *Diabetic retinopathy*?
2. Bagaimana menerapkan metode segmentasi yang tepat untuk mendeteksi tiga fitur utama *Diabetic retinopathy*, yaitu *microaneurysms*, *haemorrhage*, dan pola pembuluh darah, pada citra fundus retina?
3. Bagaimana menerapkan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) untuk mengklasifikasikan citra fundus retina menjadi kategori “Normal”, “*Non-Proliferative Diabetic retinopathy*”, dan “*Proliferative Diabetic retinopathy*”?
4. Bagaimana mengevaluasi performa model klasifikasi SVM menggunakan parameter akurasi, presisi, *Recall*, dan *F1-Score* untuk menentukan tingkat keberhasilan metode yang digunakan?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menganalisis metode pengolahan citra digital yang dapat digunakan dalam

mendeteksi dini *Diabetic retinopathy* secara otomatis berdasarkan citra fundus retina. Tujuan utama dari penelitian ini meliputi:

1. Mengembangkan sistem klasifikasi citra fundus retina yang mampu membedakan kondisi normal, *Non-Proliferative Diabetic retinopathy* (NPDR), dan *Proliferative Diabetic retinopathy* menggunakan metode *Support Vector Machine* (SVM).
2. Melakukan segmentasi otomatis terhadap *microaneurysm* , *haemorrhage*, dan pembuluh darah, sebagai fitur klinis utama yang berperan dalam indikasi awal *Diabetic retinopathy*.
3. Mengekstraksi fitur statistik, meliputi *Geometric Shape*, *Fractal Dimension*, *Gray Level Co-occurrence Matrix* (GLCM) untuk memperoleh karakteristik kuantitatif yang merepresentasikan tingkat keparahan *Diabetic Retinopathy*.
4. Menganalisis pengaruh kombinasi fitur-fitur tersebut terhadap performa klasifikasi berbasis SVM.

1.3.2 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, baik secara teoretis maupun praktis, yaitu:

1. Manfaat Akademik / Teoretis
 - a. Memberikan kontribusi ilmiah terkait pengembangan metode deteksi *Diabetic retinopathy* berbasis pengolahan citra digital dan *machine learning*.
 - b. Menjadi referensi bagi peneliti berikutnya mengenai penggunaan kombinasi fitur *fractal dimension*, *entropy*, dan *homogeneity* dalam klasifikasi citra medis.
 - c. Menambah literatur mengenai penerapan metode SVM pada masalah diagnosis penyakit berbasis citra fundus retina.
2. Manfaat Praktis
 - a. Membantu proses deteksi *Diabetic retinopathy* secara otomatis, sehingga dapat mempercepat identifikasi pasien yang memerlukan pemeriksaan lebih lanjut.

- b. Mengurangi ketergantungan terhadap diagnosis manual yang memerlukan waktu lama dan rentan terhadap subjektivitas dokter.
 - c. Dapat digunakan sebagai sistem pendukung keputusan dalam pemeriksaan kesehatan mata, terutama di fasilitas kesehatan dengan keterbatasan tenaga spesialis.
3. Manfaat Teknologis
- a. Menghasilkan model segmentasi dan klasifikasi yang dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi *software* atau *Web System* yang mudah digunakan oleh tenaga medis.
 - b. Menjadi dasar untuk pengembangan sistem *Diabetic retinopathy screening* yang lebih canggih menggunakan teknologi *computer vision* dan *machine learning*.

1.4 Batasan Masalah

Untuk memperjelas ruang lingkup dan fokus penelitian, beberapa batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya menggunakan citra fundus retina sebagai objek penelitian.
2. Penelitian hanya berfokus pada deteksi tanda-tanda *Diabetic retinopathy* (DR) berdasarkan tiga fitur utama, yaitu *microaneurysm*, *haemorrhages*, dan pola pembuluh darah.
3. Citra fundus yang digunakan seluruhnya berasal dari dua sumber *dataset* yaitu Kaggle sesuai data penelitian, sehingga sistem tidak diuji menggunakan *dataset* dari rumah sakit lain atau kamera fundus dengan spesifikasi berbeda.
4. Model klasifikasi hanya menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) dengan tiga jenis kernel, yaitu linear, RBF, dan *polynomial*.
5. Proses *preprocessing* yang digunakan terbatas pada *Auto crop and resize*, ekstraksi *Green Channel*, dan CLAHE.
6. Tahapan segmentasi dibatasi pada metode yang ditetapkan, yaitu segmentasi *microaneurysm* berbasis *black-hat transform* dan *Laplacian*.

of Gaussian (LoG), segmentasi *haemorrhage* berbasis *Region growing*, serta segmentasi pembuluh darah berbasis *Morphological filtering opening and closing* bertingkat.

7. Sistem yang dikembangkan hanya diuji pada perangkat komputer berbasis GUI System

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan penelitian ini, sistematika penulisan diperlukan agar dapat disajikan secara runtut dan mudah dipahami oleh pembaca. Sistematika penulisan dalam penelitian ini disusun sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas penelitian terdahulu serta teori-teori yang mendukung penelitian ini, meliputi citra fundus retina, pengertian *diabetic retinopathy*, pengolahan citra digital, citra *green channel*, *contrast limited adaptive histogram equalization* (CLAHE), metode *thresholding*, *morphological opening* dan *closing*, *region growing*, *Laplacian of Gaussian*, *feature extraction*, SVM, dan juga konsep evaluasi kinerja model klasifikasi

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan penelitian yang dilakukan, mulai dari pengumpulan data citra, *preprocessing*, augmentasi, segmentasi, ekstraksi fitur, penggabungan data fitur, pelatihan model, pengujian model, hingga evaluasi hasil klasifikasi.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian dan analisis dari setiap tahapan yang telah dilakukan. Pembahasan meliputi hasil *pre-processing* dan segmentasi, hasil ekstraksi fitur, perbandingan performa fitur, pengaruh parameter SVM, serta evaluasi menggunakan *confusion matrix*, akurasi, *precision*, *recall*, dan *f1score*.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.