

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Retinopati diabetik (DR) adalah gangguan retina progresif yang disebabkan oleh kerusakan pembuluh mikrovaskular akibat komplikasi diabetes melitus[1]. Hiperglikemia kronis merusak pembuluh darah retina sehingga menyebabkan peningkatan permeabilitas vaskular, oklusi kapiler, hingga neovaskularisasi[2]. Penyakit ini menyerang jaringan peka cahaya di belakang mata akibat perubahan pada pembuluh darah retina yang dipicu oleh kadar glukosa tinggi dan tidak terkontrol dalam jangka waktu yang lama[3], [4]. Kondisi ini berbahaya karena dapat menyebabkan kebutaan permanen, dan merupakan salah satu penyebab utamanya di seluruh dunia, khususnya pada kelompok usia dewasa produktif[5], [6]. Risiko kehilangan penglihatan bagi penderita diabetes diperkirakan 25 kali lebih tinggi dibanding populasi normal, tanpa adanya pengobatan, penyakit ini akan masuk ke tahap lanjut yang dapat menyebabkan pendarahan intraokular dan ablasi retina yang parah[7]. Deteksi dini menjadi sangat krusial karena penyakit ini merupakan penyakit yang bersifat asimtomatik yaitu tidak menunjukkan gejala pada tahap awal, sehingga sering kali kerusakan terjadi sebelum penderita penyakit ini menyadarinya[3], [8]. Dengan skrining rutin dan intervensi yang tepat waktu, risiko kebutaan yang parah dapat dikurangi hingga mencapai 90%[9].

Jumlah penderita diabetes di dunia selalu mengalami peningkatan signifikan dan telah menjadi masalah kesehatan global yang serius. Berdasarkan berbagai studi epidemiologi global, jumlah penderita diabetes telah mencapai 500 juta orang dewasa di seluruh dunia dan diperkirakan akan bertambah hingga 900 juta pada tahun 2050 jika tidak dilakukan intervensi yang efektif[10]. Penelitian pada *Global Burden of Disease* juga menunjukkan bahwa prevalensi dan insidensi diabetes terus meningkat sejak 1990 hingga 2021, tren kenaikan juga terbilang konsisten di berbagai kelompok usia[11]. Studi lain juga menyebutkan bahwa pada tahun 2021

terdapat sekitar 537 juta penderita diabetes secara global, angka ini akan terus meningkat di masa mendatang[12]. Peningkatan ini dipengaruhi berbagai faktor seperti perubahan gaya hidup dan urbanisasi, terutama di negara berkembang[13]. Sekitar 42% penderita diabetes di dunia masih belum terdiagnosis, sehingga risiko terjadinya komplikasi serius termasuk DR meningkat[14]. Beban Diabetic Retinopathy tidak hanya terlihat dari peningkatan jumlah penderita diabetes, tetapi juga dari dampaknya terhadap gangguan penglihatan dan kebutaan. Secara global, pada tahun 2020 diperkirakan terdapat sekitar 1,07 juta orang mengalami kebutaan akibat Diabetic Retinopathy, serta hampir 3,28 juta orang mengalami gangguan penglihatan sedang hingga berat akibat kondisi tersebut[15]. Studi di Jawa Barat juga menunjukkan bahwa 28,89% peserta dengan diabetes mengalami Diabetic Retinopathy, dan 32,69% dari kasus DR tersebut termasuk kategori vision-threatening DR[6]. Hal ini berarti diabetes merupakan epidemi global yang terus meningkat sehingga perlu upaya deteksi dini untuk menekan angka komplikasi yang ditimbulkan.

Secara umum, deteksi DR pada saat ini masih dilakukan secara manual oleh tenaga medis yaitu dokter spesialis mata (*ophthalmologist*), melalui pemeriksaan citra fundus menggunakan metode seperti funduskopi atau *optical coherence tomography*. Proses ini memerlukan keahlian klinis tinggi karena dokter harus mengidentifikasi berbagai lesi yaitu mikroaneurisma, eksudat, dan perdarahan secara visual[16]. Namun, pendekatan manual ini memiliki keterbatasan yang signifikan. Secara spesifik, proses pemeriksaan citra fundus manual untuk satu pasien diperkirakan memerlukan waktu sekitar 15 hingga 20 menit, mencakup proses akuisisi citra dan penilaian klinis oleh tenaga ahli[17]. Pada tingkat grading citra secara individual, studi klinis menunjukkan bahwa dokter spesialis mata memerlukan waktu rata-rata antara 11 hingga 40 detik per citra fundus untuk menentukan stadium DR, dengan variasi yang bergantung pada tingkat keparahan dan ukuran lesi yang diamati[18]. Selain itu, hasil diagnosis bergantung pada pengalaman dan subjektivitas dokter, sehingga dapat menimbulkan variasi interpretasi antar pemeriksa[19]. Studi terdahulu menunjukkan bahwa terdapat

perbedaan konsistensi dalam pemeriksaan manual di antara para ahli yang dapat mempengaruhi akurasi diagnosis[19]. Di sisi lain, meningkatnya jumlah penderita diabetes menyebabkan kebutuhan skrining yang tinggi sehingga metode manual menjadi kurang efisien untuk dijalankan dalam skala populasi yang besar[17], [20]. Keterbatasan tersebut menunjukkan perlunya pengembangan sistem otomatis berbasis teknologi yang dapat membantu analisis citra fundus secara lebih terstruktur, khususnya dalam mendeteksi lokasi dan mensegmentasi area lesi Diabetic Retinopathy. Namun, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini tidak ditujukan untuk menentukan diagnosis klinis maupun grading tingkat keparahan DR secara langsung, melainkan sebagai model komputasional untuk mendukung evaluasi deteksi dan segmentasi lesi pada citra fundus, serta kebutuhan penelitian maupun pengembangan metode.

Seiring dengan perkembangan kecerdasan buatan, pendekatan berbasis *deep learning* telah banyak diterapkan sebagai Solusi untuk mengatasi keterbatasan deteksi DR secara manual. Dengan berkembangnya *Artificial Intelligence* (AI), khususnya *Deep Learning* (DL), metode berbasis DL menjadi pilihan utama dalam deteksi DR secara otomatis[21]. Salah satu arsitektur yang banyak digunakan dalam analisis citra pada bidang medis adalah *Convolutional Neural Network* (CNN), yang mampu melakukan ekstraksi fitur dari citra fundus sehingga menghasilkan hasil deteksi dan klasifikasi yang akurat dibandingkan metode konvensional berbasis fitur *handcrafted*[22]. Berbagai studi terdahulu membuktikan efektivitas DL dalam skrining DR. Teknologi berbasis DL digunakan untuk menganalisis pembuluh darah mikroaneurisma, eksudat, makula, diskus optikus, dan perdarahan, serta untuk deteksi awal dan *grading* DR[23]. Arsitektur *You Only Look Once* (YOLO) menunjukkan potensi yang baik dalam pendeteksian objek pada citra fundus, di mana berbagai studi terdahulu menerapkan kerangka berbasis YOLOv8 dan berhasil mendeteksi eksudat serta mikroaneurisma dengan performa tinggi pada *dataset* citra fundus[24]. Di sisi lain, segmentasi lesi pada tingkat piksel telah terbukti efektif menggunakan arsitektur U-Net di mana penilaian tingkat keparahan DR bergantung pada segmentasi lesi yang akurat dari citra fundus[25]. Varian-

varian U-Net terus dikembangkan dan menunjukkan peningkatan performa yang signifikan, seperti FFU-Net yang berhasil meningkatkan performa segmentasi lesi dibandingkan U-Net biasa sebesar 11,97%, 10,68%, dan 5,79% pada metrik SEN, IoU, dan DICE secara berturut-turut[26].

Namun, masing-masing pendekatan ini masih memiliki keterbatasan yang signifikan jika digunakan secara terpisah. Model deteksi berbasis YOLO menghasilkan *bounding box* yang hanya memberikan informasi lokasi dan kelas lesi secara kasar dan tidak mampu mendelineasi batas lesi secara presisi pada level piksel[27]. Pada citra fundus DR, lesi mikroaneurisma, perdarahan, dan eksudat merupakan objek berukuran kecil yang tersebar pada retina mata, sehingga deteksi berbasis *bounding box* saja tidak cukup untuk karakterisasi morfologi lesi secara detail untuk kepentingan klinis[24]. Sebaliknya, model segmentasi seperti U-Net yang bekerja secara langsung pada keseluruhan citra tanpa lokasi awal cenderung mengalami kesulitan dalam membedakan lesi kecil dari latar belakang yang kompleks pada retina[28]. Model berbasis deteksi yang mengandalkan *bounding box* memiliki limitasi karena tidak secara langsung menggunakan informasi spesifik lesi untuk *grading* DR secara akurat[29]. Selain itu, hasil yang diperoleh dari pendekatan YOLO dalam segmentasi lesi DR masih belum sepenuhnya siap diimplementasikan dalam konteks klinis[27]. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan pendekatan hibrid yang mengintegrasikan YOLO sebagai model deteksi lokasi lesi dan U-Net sebagai model segmentasi area lesi. Pendekatan ini difokuskan untuk menghasilkan informasi komputasional berupa *bounding box* dan mask segmentasi lesi, sehingga hasil yang diperoleh digunakan untuk analisis citra fundus pada tingkat lesi, bukan untuk menentukan diagnosis klinis atau *grading* tingkat keparahan DR secara langsung.

Meskipun berbagai pendekatan DL telah banyak dikembangkan untuk deteksi DR, masih terdapat celah dalam integrasi metode deteksi dan segmentasi secara bersamaan. Model berbasis deteksi objek seperti YOLO memiliki keunggulan dalam deteksi lokasi secara cepat melalui *bounding box*, model ini cocok untuk kebutuhan *real-time* dan skrining skala besar[30], [31]. Beberapa penelitian terbaru

menunjukkan bahwa varian YOLO mampu meningkatkan akurasi deteksi lesi kecil pada citra retina walau memiliki keterbatasan dalam informasi detail tingkat piksel[31], [32]. Arsitektur U-Net banyak digunakan dalam segmentasi citra medis karena mampu menghasilkan representasi spasial yang detail pada area lesi[33]. U-Net terbukti efektif dalam identifikasi struktur mikro seperti mikroaneurisma dan eksudat namun pada umumnya tidak secara eksplisit menentukan lokasi awal lesi[33], [34]. Beberapa studi terbaru mulai mengarah pada pendekatan *hybrid* yang menggabungkan deteksi dengan segmentasi, namun implementasinya masih terbatas dan belum digunakan secara luas[35], [36]. Pengembangan model *hybrid* yang menggabungkan keunggulan YOLO dalam deteksi lokasi dan U-Net dalam segmentasi detail menjadi peluang yang menjanjikan untuk meningkatkan akurasi dan interpretabilitas sistem deteksi otomatis.

Berdasarkan keterbatasan yang ada, penelitian ini mengusulkan sebuah *pipeline* hibrid dua tahap yang mengintegrasikan YOLO sebagai model deteksi lesi dan U-Net sebagai model segmentasi detail, dengan tahapan *preprocessing* dan augmentasi data yang terstruktur. Data citra fundus diproses melalui serangkaian langkah *preprocessing* yang mencakup *resize*, normalisasi piksel, dan penerapan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) sebelum masuk ke pelatihan model[37]. Penggunaan CLAHE terbukti secara signifikan meningkatkan akurasi klasifikasi DR, di mana model yang dilatih dengan citra hasil CLAHE dapat mencapai akurasi 98,7% dibandingkan tanpa *preprocessing* tersebut[37]. Untuk mengatasi keterbatasan jumlah data berlabel pada citra fundus, penelitian ini menerapkan teknik augmentasi data secara sistematis. Augmentasi seperti rotasi dan *flipping* terbukti efektif mengatasi keterbatasan ukuran sampel yang berhasil meningkatkan jumlah data latih hingga lima kali lipat dan tetap menjaga performa model deteksi DR[38]. Tahapan ini sejalan dengan praktik terbaik literatur di mana augmentasi yang mencakup rotasi, *flipping*, *scaling*, dan translasi terbukti meningkatkan ukuran *dataset* sekaligus kualitas citra fundus yang digunakan dalam pelatihan model deteksi DR[39].

Pada tahap pertama, model YOLO digunakan untuk melakukan deteksi dan lokalisasi DR secara cepat pada citra fundus. *Bounding box* yang dihasilkan YOLO kemudian digunakan sebagai panduan untuk mengekstrak *Region of Interest* (ROI) dari setiap lesi yang dideteksi[40]. Strategi dua tahap ini telah divalidasi dalam domain medis di mana kombinasi YOLO untuk deteksi objek dan U-Net untuk segmentasi menghasilkan identifikasi yang akurat dengan model hibrid mencapai presisi 97,8%, akurasi 98,6%, dan skor ROC-AUC 98,5%[40].

Pada tahap kedua, ROI hasil ekstraksi diteruskan ke model U-Net untuk menghasilkan *segmentation mask* lesi pada level piksel. U-Net dan varian-varian seperti U-Net++ dan U-Net 3+ telah mentransformasi segmentasi citra medis dengan mengotomatisasi proses delineasi dan meningkatkan akurasi dibandingkan metode berbasis fitur manual[41]. Dengan memfokuskan segmentasi pada area ROI yang telah dilokalisasi oleh YOLO, beban komputasi U-Net berkurang dan model lebih berpusat pada area yang relevan secara klinis[42]. Kerangka berbasis panduan ROI di mana YOLO melokalisasi area lesi dan model segmentasi melakukan delineasi piksel secara presisi merupakan strategi yang menjanjikan untuk menghasilkan peta lesi yang komprehensif[43]. Kontribusi utama penelitian ini dibandingkan studi-studi terdahulu terletak pada integrasi kedua model dalam satu *pipeline* yang dirancang untuk deteksi lesi DR guna mengisi celah penelitian yang masih jarang dieksplorasi dalam literatur yang ada[27], [44].

Berdasarkan uraian latar belakang yang ada, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model deteksi dan segmentasi lesi DR berbasis *pipeline* hibrid yang mengintegrasikan YOLO untuk lokalisasi lesi dan U-Net untuk segmentasi detail pada level piksel yang menghasilkan sistem analisis citra fundus komprehensif. Sistem berbasis *deep learning* ini memiliki potensi besar sebagai alat bantu analisis citra fundus untuk kebutuhan penelitian, pembelajaran, dan pengembangan metode, di mana sistem berbasis AI dengan efisiensi tinggi dapat dikembangkan untuk melakukan diagnosis dan skrining DR pada tahap awal tanpa bergantung pada sumber daya yang tersedia di klinik khusus[45]. Dari persepektif peningkatan akurasi diagnosis, algoritma *deep learning* yang divalidasi pada

populasi skrining skala besar menunjukkan sensitivitas yang jauh lebih tinggi yaitu 0,97 dibandingkan *grader* manusia yaitu 0,74 dalam deteksi DR yang memerlukan rujukan[46]. Selain meningkatkan akurasi, sistem ini juga berkontribusi terhadap efisiensi waktu skrining sekitar 25% dibandingkan tanpa bantuan AI[47]. Sistem berbasis DL juga membuka peluang perluasan jangkauan skrining DR ke populasi yang lebih luas karena sistem AI akan terus berkembang dari sekedar mendeteksi DR ke identifikasi penyakit mata lainnya yang memberikan kemudahan dibandingkan metode manual[48]. Dengan demikian sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini tidak ditujukan sebagai sistem diagnosis klinis akhir. Output yang dihasilkan berupa lokasi, lesi, jenis lesi, area segmentasi, serta estimasi komputasional berdasarkan hasil model sehingga sistem ini lebih tepat diposisikan sebagai alat bantu analisis citra fundus untuk kebutuhan penelitian, pembelajaran, dan pengembangan metode, bukan sebagai pengganti dokter spesialis mata yang mengurangi beban tenaga kerja medis dalam skrining DR, serta menjadi fondasi pengembangan sistem skrining DR berbasis teknologi yang lebih baik. Dengan demikian, ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada pengembangan model deteksi dan segmentasi lesi Diabetic Retinopathy pada citra fundus. Model YOLOv8m digunakan untuk mendeteksi lokasi lesi, sedangkan U-Net digunakan untuk menghasilkan segmentasi area lesi berdasarkan ROI hasil deteksi. Penelitian ini tidak melakukan diagnosis klinis, tidak menentukan grading tingkat keparahan DR secara langsung, serta belum melalui validasi klinis oleh dokter spesialis mata. Oleh karena itu, sistem yang dikembangkan diposisikan sebagai prototype dan referensi pengembangan metode analisis citra fundus berbasis deep learning, bukan sebagai pengganti keputusan medis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang penulis uraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan model deteksi lesi Retinopati Diabetik pada citra fundus mata menggunakan YOLOv8m?

2. Bagaimana menerapkan metode segmentasi U-Net untuk melakukan segmentasi area lesi berdasarkan ROI hasil deteksi YOLOv8m?
3. Bagaimana kinerja model deteksi dan segmentasi yang dikembangkan berdasarkan parameter evaluasi seperti precision, recall, mean Average Precision (mAP), Intersection over Union (IoU), dan Dice Score?
4. Bagaimana pengaruh kesalahan deteksi YOLOv8m terhadap hasil segmentasi U-Net pada *pipeline* hibrid?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan, penulis telah menentukan batasan masalah dalam penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya menggunakan citra fundus mata sebagai data input, dan tidak mencakup modalitas pencitraan lain seperti *Optical Coherence Tomography* (OCT) dan *fluorescein angiography*.
2. Fokus deteksi lesi dibatasi pada deteksi lokasi dan segmentasi menggunakan U-Net.
3. Metode yang digunakan dalam penelitian ini dibatasi pada algoritma YOLOv8 untuk deteksi objek dan U-Net untuk segmentasi citra tanpa membandingkan arsitektur *deep learning* lain secara ekstensif.
4. *Dataset* yang digunakan terbatas pada *dataset* publik yang memiliki anotasi lesi dan tidak mencakup pengambilan data klinis secara langsung dari rumah sakit.
5. Evaluasi performa model dilakukan berdasarkan parameter kuantitatif seperti precision, recall, mAP, IoU, dan Dice Score tanpa melakukan uji klinis secara langsung pada pasien.
6. Penelitian ini berfokus pada aspek pengembangan dan evaluasi model komputasi sehingga tidak membahas aspek terapi, manajemen klinis, atau intervensi medis terhadap pasien DR.
7. Penelitian ini tidak melakukan diagnosis klinis atau *grading* tingkat keparahan DR secara langsung. Estimasi tingkat keparahan yang ditampilkan pada

prototype hanya bersifat komputasional berdasarkan hasil deteksi dan segmentasi lesi.

8. *Dataset* yang digunakan mengikuti pembagian data publik, oleh karena itu potensi kesamaan pasien atau mata yang sama antar subset train, validation, dan test tidak dapat diverifikasi secara penuh karena *dataset* tidak menyediakan identitas pasien secara eksplisit.
9. Perbandingan model pada penelitian ini dibatasi pada YOLO-only, U-Net-only citra penuh, dan *pipeline* hibrid YOLO+U-Net. Penelitian ini tidak membandingkan seluruh varian YOLO atau varian U-Net lain secara ekstensif.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah penulis susun, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengembangkan model deteksi lesi Retinopati Diabetik pada citra fundus mata menggunakan algoritma YOLOv8m sebagai metode deteksi objek.
2. Menerapkan metode segmentasi berbasis U-Net untuk memperoleh representasi spasial yang lebih detail terhadap lesi pada citra fundus mata.
3. Mengevaluasi kinerja model deteksi dan segmentasi yang dikembangkan berdasarkan parameter pengukuran seperti precision, recall, mean Average Precision (mAP), Intersection over Union (IoU), dan Dice Score.
4. Menganalisis pengaruh kesalahan deteksi YOLOv8m terhadap hasil segmentasi U-Net pada *pipeline* hibrid melalui evaluasi *error propagation*.

1.4.2 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan metode analisis citra medis berbasis *deep learning*, khususnya penerapan YOLO untuk deteksi objek medis berukuran kecil dan U-Net sebagai model segmentasi lesi retina yang memberikan solusi dalam membantu dalam proses analisis citra fundus untuk penelitian dan juga sebagai kebutuhan dalam pengembangan metode sesuai.

Secara teoritis, penelitian ini memberikan kontribusi pada ranah keilmuan sistem informasi dan deep learning, khususnya terkait pengembangan metode analisis citra medis yang memanfaatkan algoritma YOLO untuk deteksi objek berukuran kecil dan arsitektur U-Net untuk segmentasi lesi retina. Penelitian ini juga menjadi acuan literatur yang menyajikan perbandingan kinerja antara pendekatan model tunggal (YOLO-only dan U-Net-only) dengan pipeline hibrid (YOLO dipadukan dengan U-Net). Perbandingan ini sangat berguna untuk memperlihatkan secara empiris keunggulan serta keterbatasan dari masing-masing pendekatan dalam menangani tugas deteksi dan segmentasi lesi retinopati diabetik.

Secara praktis, penelitian ini menyediakan purwarupa model komputasi yang dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu evaluasi citra fundus mata bagi para peneliti atau pengembang sistem guna mempermudah proses riset lanjutan di bidang teknologi kesehatan. Hasil penelitian ini juga dapat menjadi kerangka dasar bagi pengembangan sistem penapisan otomatis kelainan retina di masa mendatang yang berpotensi memangkas waktu analisis pada tahapan awal pemeriksaan medis. Penelitian ini juga memberikan pembandingan antara pendekatan YOLO-only, U-Net-only, dan *pipeline* hibrid YOLO+U-Net. Perbandingan tersebut dapat membantu menunjukkan kelebihan dan keterbatasan masing-masing pendekatan dalam deteksi dan segmentasi lesi DR. Hasil sistem tidak digunakan sebagai diagnosis klinis akhir dan tetap memerlukan validasi oleh dokter spesialis mata sebelum digunakan dalam konteks klinis.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari beberapa bab sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menguraikan teori-teori dan penelitian terdahulu yang relevan dengan topik yakni Diabetic Retinopathy, YOLO, dan U-Net dalam bidang teknologi medis.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Membahas metode penelitian yang digunakan mulai dari *dataset*, eksplorasi *dataset*, *preprocessing*, pemodelan YOLOv8m, pengecekan *data imbalance*, augmentasi data, training data, ekstraksi *bounding box*, ekstraksi ROI, pemodelan U-Net sampai segmentasi detail, kemudian menggabungkan model menjadi *pipeline* hibrid. Selain itu, uraian alat, dan IDE yang digunakan serta tahapan penelitian.



UMN
UNIVERSITAS
MULTIMEDIA
NUSANTARA