

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan prevalensi gangguan penglihatan secara global menunjukkan urgensi deteksi dini yang akurat dan efektif. Berdasarkan laporan *World Health Organization (WHO)*, sekitar 2,2 miliar orang mengalami gangguan penglihatan, dengan lebih dari 1 miliar kasus ($\pm 45\%$) sebenarnya dapat dicegah atau belum tertangani secara memadai [1]. Tingginya angka kasus yang tidak tertangani ini berkorelasi erat dengan keterbatasan akses terhadap layanan kesehatan mata dasar yang merata di berbagai belahan dunia. Kondisi tersebut pada akhirnya memberikan dampak yang signifikan terhadap kualitas hidup, tingkat pendidikan, hingga beban ekonomi masyarakat secara global.

Kurangnya aksesibilitas layanan mengakibatkan 1,1 miliar orang hidup dengan gangguan penglihatan dan memicu kerugian produktivitas global hingga \$411 miliar per tahun [2]. Kondisi ini diperparah oleh fakta bahwa katarak masih menyumbang sekitar 51% sebagai penyebab utama kebutaan di seluruh dunia [3]. Jumlah kasus diproyeksikan meningkat lebih dari 55% pada tahun 2050 seiring pertumbuhan populasi lansia [4]. Penyakit mata anterior seperti konjungtivitis, katarak, *Uveitis*, serta kelainan pada kelopak mata (*Eyelid*) merupakan kondisi yang sering ditemukan dalam praktik klinis dan berpotensi menurunkan kualitas penglihatan secara signifikan apabila tidak didiagnosis secara dini [5]. Selain itu, gejala awal yang ringan dan batas lesi yang tidak tegas sering menyulitkan identifikasi klinis pada tahap awal. Oleh karena itu, gangguan mata anterior menjadi tantangan kesehatan global yang memerlukan pendekatan deteksi yang lebih efisien, objektif, dan berbasis teknologi.

Dalam konteks sistem informasi kesehatan, pemanfaatan *Artificial Intelligence (AI)* menjadi solusi potensial untuk meningkatkan efisiensi dan objektivitas deteksi penyakit [6]. Segmen anterior mata dipilih karena kelainannya dapat diamati melalui citra eksternal tanpa memerlukan pemeriksaan khusus seperti fundus atau OCT [7]. Citra dapat diperoleh menggunakan kamera digital maupun smartphone,

sehingga memungkinkan pengembangan sistem skrining berbasis mobile [8]. Namun, diagnosis klinis saat ini masih bergantung pada observasi visual tenaga medis yang berpotensi subjektif, terutama pada kondisi dengan variasi pencahayaan dan ukuran lesi yang kecil. Oleh karena itu, diperlukan sistem berbasis AI yang mampu memberikan analisis yang lebih konsisten dan mendukung pengambilan keputusan klinis [9].

Perkembangan Artificial Intelligence (AI) dalam analisis citra medis terus mengalami kemajuan pesat, khususnya melalui implementasi Deep Learning pada bidang oftalmologi. Salah satu metode object detection yang mengalami perkembangan signifikan adalah YOLO (You Only Look Once), yang terus disempurnakan dari generasi awal hingga versi terbaru seperti YOLOV12. Secara umum, perkembangan arsitektur YOLO berfokus pada peningkatan akurasi deteksi, efisiensi komputasi, kemampuan feature extraction, serta sensitivitas terhadap objek kecil dan kompleks [10]. Pendekatan object detection dinilai lebih informatif dibandingkan klasifikasi tunggal karena mampu menunjukkan lokasi lesi secara langsung melalui *bounding box* [11]. Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai penelitian telah menerapkan model YOLO generasi sebelumnya seperti YOLOv5 untuk mendeteksi kelainan pada mata bagian luar, termasuk konjungtivitis, katarak tampak eksternal (leukokoria), serta inflamasi kornea [12]. Berdasarkan penelitian terdahulu pada Tabel 2.1, penggunaan Improved YOLOv5 + CBAM pada dataset OSD berbasis citra smartphone berhasil memperoleh nilai *mAP* sebesar 90,5% [12], sedangkan YOLOv5 pada dataset ASDD (*slit-lamp images*) mampu mencapai akurasi sebesar 89,9% [13]. Selain itu, penerapan YOLOV12-ECA pada tugas *object detection* menunjukkan bahwa mekanisme *Efficient Channel Attention (ECA)* mampu mendukung efisiensi kanal fitur dan performa *real-time detection* dengan *mAP@0.50* sebesar 78,8% [14]. Perkembangan terbaru pada YOLOV12 juga menunjukkan peningkatan kemampuan dalam ekstraksi fitur mikro dan deteksi objek kecil yang kompleks. Penelitian SMA-YOLO berbasis YOLOV12 memperoleh nilai *mAP* sebesar 83,7% pada objek bertekstur kompleks [15], sedangkan penelitian Improved YOLOV12 mencapai akurasi sebesar 90,4% dalam mengenali fitur tekstur halus [16]. Hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa

perkembangan arsitektur *YOLO* hingga *YOLOV12* mampu meningkatkan performa deteksi pada citra dengan karakteristik kompleks dan detail mikro seperti citra mata anterior. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih terbatas pada optimalisasi performa dasar tanpa eksplorasi lebih lanjut terhadap presisi lokalisasi, sensitivitas lesi kecil, dan interpretabilitas model sehingga diperlukan pendekatan yang tidak hanya berfokus pada performa deteksi, tetapi juga pada interpretabilitas dan efisiensi implementasi.

Seiring perkembangan arsitektur deteksi objek, *YOLO* terus mengalami penyempurnaan dari sisi efisiensi dan kemampuan ekstraksi fitur multi-skala. *YOLOV12* sebagai generasi yang lebih mutakhir dirancang dengan peningkatan pada struktur backbone, feature fusion, dan head detection sehingga lebih adaptif terhadap objek dengan variasi ukuran dan kontras rendah [17]. Keunggulan ini relevan untuk mendeteksi lesi mata anterior yang sering memiliki batas tidak tegas. Dengan demikian, penggunaan *YOLOV12* menjadi langkah pengembangan dari penelitian sebelumnya yang masih didominasi generasi *YOLO* terdahulu [18]. Meskipun menawarkan berbagai keunggulan, pendekatan ini masih memiliki keterbatasan, seperti ketergantungan terhadap kualitas dataset dan variasi pencahayaan citra, serta potensi penurunan performa pada kondisi citra dengan noise tinggi atau sudut pengambilan yang tidak optimal [19]. Keterbatasan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan performa tidak hanya bergantung pada arsitektur model, tetapi juga pada kemampuan model dalam mengekstraksi dan memfokuskan fitur penting yang berkaitan langsung dengan objek yang dideteksi.

Dalam konteks peningkatan presisi dan transparansi sistem, penelitian ini menekankan integrasi mekanisme *Attention* dan pendekatan *Explainable Artificial Intelligence (XAI)* pada arsitektur *YOLOV12* (You Only Look Once versi 12). Mekanisme *Attention* yang digunakan dalam penelitian ini mencakup *CBAM* (*Convolutional Block Attention Module*) dan *ECA* (*Efficient Channel Attention*) sebagai dua pendekatan yang dibandingkan untuk meningkatkan kualitas ekstraksi fitur. *CBAM* mengombinasikan *Channel Attention* dan *Spatial Attention* secara berurutan sehingga mampu menangkap informasi lokasi dan konteks visual secara lebih komprehensif. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan *CBAM*

pada model deteksi objek dapat meningkatkan performa dengan kenaikan nilai *Mean Average Precision (mAP)* dan *F1-score* yang umumnya berada pada kisaran 3-5% dibandingkan model tanpa mekanisme *Attention*, terutama pada citra dengan kompleksitas tinggi [12]. Di sisi lain, *ECA* mampu meningkatkan performa model dengan kenaikan *mAP* yang berkisar 1-3%, serta memiliki keunggulan dalam menjaga efisiensi dan kecepatan inferensi dibandingkan mekanisme *Attention* yang lebih kompleks [14].

Perbedaan karakteristik ini menjadi dasar evaluasi untuk mengetahui *trade-off* antara peningkatan akurasi dan efisiensi model. Pendekatan ini penting karena lesi pada segmen anterior sering memiliki batas yang tidak tegas dan ukuran kecil, sehingga membutuhkan sensitivitas tinggi terhadap variasi tekstur dan warna. *Explainable AI* diwujudkan melalui visualisasi *bounding box* serta analisis *confidence score* yang menunjukkan lokasi prediksi secara langsung, sehingga keputusan model lebih mudah dipahami dalam konteks klinis [20]. Dengan demikian, sistem tidak hanya menghasilkan klasifikasi penyakit, tetapi juga memberikan representasi visual yang mendukung interpretasi medis secara objektif dan transparan.

Dari sisi komputasi dan implementasi mobile, arsitektur *YOLO* termasuk dalam kategori single-stage detector yang lebih efisien dibandingkan model two-stage seperti Faster R-CNN [21]. Struktur yang terintegrasi antara klasifikasi dan regresi *bounding box* memungkinkan inferensi dilakukan secara *real-time* dengan jumlah parameter yang relatif lebih kecil. Beberapa studi menunjukkan bahwa model *YOLO* yang dioptimasi dapat dijalankan pada perangkat *edge computing* dan *embedded system* dengan latensi rendah tanpa penurunan performa signifikan, termasuk penelitian pada jurnal yang melaporkan efisiensi implementasi *YOLO* pada perangkat dengan sumber daya terbatas [22]. Karakteristik ini mendukung implementasi pada perangkat mobile, terutama untuk citra mata anterior yang berbasis citra eksternal. Arsitektur *YOLOV12* yang efisien memungkinkan integrasi dengan aplikasi mobile melalui server inferensi berbasis API sehingga proses deteksi dapat dilakukan secara cepat dan responsif [23]. Pendekatan tersebut juga

berpotensi meningkatkan aksesibilitas deteksi dini pada layanan kesehatan primer serta wilayah dengan keterbatasan fasilitas kesehatan.

Dalam praktik klinis, evaluasi segmen anterior mempertimbangkan berbagai parameter seperti lokasi lesi, luas area terdampak, tingkat kemerahan (hiperemia), kekeruhan atau opasitas, serta batas inflamasi [24]. Sistem deteksi berbasis *YOLOV12* tidak hanya mampu mengidentifikasi keberadaan penyakit, tetapi juga memungkinkan analisis kuantitatif seperti estimasi luas lesi berdasarkan rasio piksel terhadap area kornea, posisi relatif terhadap pusat visual, serta distribusi tekstur abnormal. Parameter-parameter tersebut dapat mendukung dokumentasi progresivitas penyakit dan evaluasi respons terapi secara lebih objektif. Dengan integrasi visualisasi berbasis *Explainable AI*, model juga dapat menampilkan area aktivasi yang menjadi dasar prediksi, sehingga meningkatkan transparansi dan kepercayaan dalam penggunaannya sebagai sistem pendukung keputusan klinis [25]. Berdasarkan perkembangan tersebut, penggunaan *YOLOV12* dalam penelitian ini diarahkan untuk meningkatkan presisi lokalisasi, efisiensi komputasi, serta interpretabilitas deteksi penyakit mata anterior pada citra non-fundus. Pendekatan ini diharapkan mampu melengkapi penelitian sebelumnya dengan menghadirkan sistem yang lebih adaptif terhadap variasi karakteristik lesi, ringan untuk implementasi mobile, serta tetap berfungsi sebagai alat bantu objektif yang mendukung praktik klinis tanpa menggantikan peran dokter.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem deteksi penyakit mata anterior berbasis *YOLOV12* yang terintegrasi dengan mekanisme *Attention* serta pendekatan *Explainable AI (XAI)*. Pendekatan ini difokuskan tidak hanya pada peningkatan akurasi deteksi, tetapi juga pada presisi lokalisasi lesi dan kemampuan interpretasi hasil secara transparan. Selain itu, optimalisasi arsitektur dilakukan agar sistem tetap efisien dan memungkinkan implementasi pada perangkat mobile. Integrasi aspek teknis dan klinis diharapkan mampu menghasilkan analisis yang lebih objektif dan konsisten dalam mendukung proses diagnosis. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjawab keterbatasan pada studi sebelumnya yang masih berfokus pada performa tanpa mempertimbangkan interpretabilitas dan efisiensi. Kontribusi yang

diharapkan dapat meningkatkan aksesibilitas deteksi dini serta mendukung pengambilan keputusan klinis secara lebih efektif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan utama dalam penelitian ini berkaitan dengan kebutuhan sistem deteksi dan klasifikasi penyakit mata anterior yang tidak hanya memiliki tingkat akurasi tinggi, tetapi juga efisien dan interpretatif. Oleh karena itu, rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja model *YOLOv12* berbasis mekanisme *Attention* dalam mendeteksi penyakit mata anterior pada citra non-fundus?
2. Bagaimana kemampuan pendekatan *Explainable Artificial Intelligence (XAI)* dalam meningkatkan transparansi dan interpretabilitas hasil deteksi penyakit mata anterior?
3. Bagaimana performa implementasi model *YOLOv12* berbasis *Attention* pada perangkat mobile dalam mendeteksi penyakit mata anterior secara *real-time* dengan tetap mempertahankan akurasi dan efisiensi komputasi?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah dan tidak menyimpang dari tujuan utama, maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada beberapa aspek berikut:

1. Penelitian ini menggunakan citra mata anterior non-fundus berupa gambar eksternal mata dalam format digital (JPG/JPEG) yang berasal dari dataset penelitian, dengan kategori penyakit meliputi konjungtivitis, katarak tampak eksternal, *Eyelid* disorder, *Uveitis*, serta kondisi normal.
2. Citra yang digunakan melalui tahap image *preprocessing* yang mencakup cropping area mata sebagai Region of Interest (ROI), normalisasi pencahayaan, penyesuaian kontras, dan resizing ke ukuran input model (512×512 piksel) untuk menjaga konsistensi data.
3. Model yang dikembangkan menggunakan arsitektur *YOLOv12* berbasis *Attention*, dengan integrasi modul *CBAM (Convolutional Block Attention)*

Module), *Efficient Channel Attention (ECA)* untuk meningkatkan deteksi multi-skala.

4. Evaluasi performa sistem dilakukan menggunakan metrik standar deteksi objek, yaitu *Mean Average Precision (mAP)*, *precision*, *recall*, *F1 score*, serta analisis *confusion matrix*.
5. Model diimplementasikan pada perangkat mobile.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dan manfaat penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi terhadap pengembangan teknologi kecerdasan buatan di bidang kesehatan, khususnya dalam deteksi penyakit mata anterior secara otomatis dan interpretatif menggunakan YOLOV12 berbasis *Explainable AI*.

1.4.1 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi kinerja model YOLOv12 berbasis mekanisme *Attention* berupa *Convolutional Block Attention Module (CBAM)* dan *Efficient Channel Attention (ECA)* dalam mendeteksi penyakit mata anterior pada citra non-fundus berdasarkan tingkat akurasi, presisi, *recall*, *mAP*, dan *F1-score*.
2. Menganalisis kemampuan pendekatan *Explainable Artificial Intelligence (XAI)* dalam meningkatkan transparansi dan interpretabilitas hasil deteksi penyakit mata anterior melalui visualisasi area yang menjadi dasar keputusan model.
3. Mengevaluasi performa implementasi model YOLOv12 berbasis mekanisme *Attention* berupa *Convolutional Block Attention Module (CBAM)* dan *Efficient Channel Attention (ECA)* pada perangkat mobile dalam mendeteksi penyakit mata anterior secara *real-time* dengan tetap mempertahankan akurasi dan efisiensi komputasi.

1.4.2 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

4.1.2.1 Manfaat Teoritis

Manfaat Teoritis dalam penelitian ini antara lain:

1. Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan metode deteksi otomatis penyakit mata anterior berbasis arsitektur *YOLOV12* dengan mekanisme *Attention* pada citra non-fundus.
2. Memperkaya literatur mengenai penerapan model deteksi objek modern berbasis deep learning dalam domain citra medis, khususnya pada analisis segmen anterior mata.
3. Menambah kajian terkait integrasi *Explainable Artificial Intelligence (XAI)* dalam sistem deteksi berbasis deep learning untuk meningkatkan interpretabilitas dan transparansi model di bidang kesehatan.

4.1.2.2 Manfaat Praktis

1. Membantu tenaga medis dalam melakukan skrining awal penyakit mata anterior secara lebih cepat, objektif, dan konsisten melalui sistem deteksi otomatis berbasis *YOLOV12* berbasis *Attention*.
2. Menyediakan visualisasi hasil deteksi berupa penandaan lokasi lesi dan tingkat kepercayaan prediksi sehingga meningkatkan pemahaman dan transparansi penggunaan sistem.
3. Menjadi dasar pengembangan sistem deteksi penyakit mata anterior berbasis kecerdasan buatan yang ringan, efisien, dan dapat diimplementasikan pada perangkat mobile untuk mendukung deteksi dini yang lebih praktis dan merata.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan karya ilmiah ini mengikuti template resmi Program Studi Sistem Informasi, Universitas Multimedia Nusantara, yang bertujuan untuk menyajikan laporan penelitian secara terstruktur, konsisten, serta mudah dipahami. Struktur ini

membantu pembaca memahami alur penelitian, metode yang digunakan, serta hasil yang diperoleh. Adapun sistematika penulisannya adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memaparkan latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan, batasan, manfaat, serta sistematika penulisan. Bab ini berfungsi untuk memberikan gambaran mengapa penelitian ini dilakukan dan arah pengembangan yang ingin dicapai.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini mengulas teori, konsep dasar, dan studi-studi terdahulu yang relevan. Tujuannya adalah membangun dasar ilmiah yang kokoh bagi penelitian serta mengidentifikasi celah penelitian (research gap) yang menjadi landasan pengembangan model atau metode dalam studi ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan desain penelitian, sumber dan pengolahan data, serta langkah-langkah analisis yang diterapkan. Bab ini bertujuan untuk memperlihatkan proses penelitian secara terstruktur sehingga pembaca dapat memahami bagaimana penelitian dilaksanakan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil eksperimen, analisis performa model, dan interpretasi data. Tujuannya adalah mengevaluasi kinerja metode yang digunakan serta membahas temuan penelitian secara menyeluruh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merangkum temuan utama penelitian dan menyampaikan saran untuk pengembangan atau penelitian lanjutan. Tujuannya adalah memberikan gambaran akhir dari penelitian sekaligus arahan untuk studi berikutnya.