

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Computer Vision modern yang digerakkan oleh perkembangan *Deep Learning* telah mengalami evolusi yang pesat, di mana *object detection* memainkan peran fundamental dalam menyelesaikan berbagai tugas visual yang kompleks [1]. Peningkatan efisiensi melalui teknologi ini telah dirasakan di berbagai sektor industri, mulai dari kendaraan otonom, pengawasan video cerdas, sektor kesehatan melalui *medical imaging*, hingga inspeksi jaminan kualitas otomatis [2]. Namun, terlepas dari berbagai kemajuan tersebut, tantangan utama yang masih belum sepenuhnya terpecahkan adalah mempertahankan *robustness* model pada lingkungan nyata yang dinamis. Secara khusus, sistem *object detection* sering kali mengalami kesulitan ketika berhadapan dengan variasi skala objek yang ekstrem. Akibatnya, akurasi deteksi pada objek berukuran kecil (*small objects*) masih tertinggal dibandingkan objek berskala sedang atau besar [3], [4].

Pada *benchmark* MS COCO yang banyak digunakan sebagai standar evaluasi *object detection*, performa deteksi *small object* dilaporkan memiliki nilai *Average Precision* (AP) yang dapat mencapai 2–3 kali lebih rendah dibandingkan objek berukuran besar [5]. Selain itu, sekitar 41% objek pada dataset MS COCO termasuk ke dalam kategori *small object* [6], [7]. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun *object detection* telah mengalami perkembangan yang pesat, kemampuan model dalam mengenali objek berukuran kecil masih memerlukan perhatian dan pengembangan lebih lanjut.

Permasalahan kompleks pada *small object detection* tersebut tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga sangat relevan dalam berbagai aplikasi nyata di industri. Salah satu contohnya dapat ditemukan pada sektor farmasi, khususnya dalam proses inspeksi kualitas pada obat. Kondisi fisik obat memiliki peran penting karena kerusakan seperti retakan atau pecahan (*gompel*) dapat memengaruhi kualitas produk serta menimbulkan kerugian dari sisi produksi farmasi [8], [9]. Tablet yang kehilangan sebagian bagiannya berpotensi mengurangi bobot serta kandungan zat

aktif, sehingga dosis yang diterima pasien menjadi tidak sesuai. Bahkan, penyimpangan dosis dalam jumlah kecil sekalipun dapat meningkatkan risiko terjadinya efek samping [10]. Namun, proses inspeksi visual di industri farmasi masih banyak dilakukan secara manual dan bergantung pada operator manusia. Padahal, inspeksi visual oleh operator terlatih dilaporkan hanya memiliki efektivitas sekitar 80-85% dalam mendeteksi cacat produk, sehingga masih terdapat sekitar 15-20% cacat yang berpotensi terlewat [11]. Di Indonesia sendiri, untuk meminimalisir risiko tersebut, pengawasan ketat telah diberlakukan melalui standar Cara Pembuatan Obat yang Baik (CPOB) yang diatur dalam Peraturan BPOM No. 7 Tahun 2024 [12].

Dimensi masalah pada deteksi objek kecil ini menjadi jauh lebih rumit ketika dihadapkan pada skenario *fine-grained recognition* dan kondisi *real-world*. Pengenalan *fine-grained* berurusan dengan kelas objek yang memiliki kemiripan visual antarkelas yang sangat tinggi namun variasi internal yang besar, sehingga menuntut model untuk mampu membedakan perbedaan detail lokal yang sangat tipis [13], [14]. Di sisi lain, skenario *real-world* menghadirkan kondisi di mana banyak objek saling berkerumun dan tumpang tindih (*overlapping*), sehingga batas antar objek menjadi tidak jelas. Kombinasi keterbatasan informasi piksel, kemiripan visual, dan kondisi tumpang tindih ini semakin menyulitkan model dalam membedakan serta melokalisasi objek secara akurat [8].

Kondisi tersebut mendorong pemanfaatan teknologi otomatisasi berbasis *computer vision* sebagai solusi alternatif yang lebih efisien dan konsisten dalam proses inspeksi visual [15]. Berbagai penelitian telah menerapkan model YOLO pada objek farmasi, namun sebagian besar masih berfokus pada tugas penghitungan objek (*tablet counting*) atau deteksi objek secara umum. Sementara itu, penelitian yang secara khusus mengevaluasi kemampuan model dalam mendeteksi kerusakan morfologi tablet yang bersifat *fine-grained* pada kondisi *real-world* masih relatif terbatas. Padahal, karakteristik kerusakan seperti retakan atau pecahan memiliki perbedaan visual yang sangat tipis serta sering muncul pada kondisi pencahayaan yang bervariasi, latar belakang kompleks, dan objek yang saling bertumpang tindih, sehingga menjadi tantangan tersendiri bagi model *object detection* [9], [16]. Selain itu, proses *down-sampling* pada arsitektur CNN dan YOLO generasi sebelumnya

berpotensi menyebabkan hilangnya informasi spasial penting pada objek kecil, sehingga sensitivitas model terhadap detail cacat halus menjadi terbatas [15], [16].

Sebagai pengembangan dari metode sebelumnya, YOLOv12 menggunakan pendekatan yang lebih berfokus pada mekanisme *attention-centric* dan konvolusi tanpa mengorbankan kecepatan *real-time* yang menjadi ciri khas *one-stage detector* [16]. Melalui mekanisme ini, model mampu memberikan bobot berbeda pada setiap area citra berdasarkan tingkat relevansinya, sehingga dapat lebih fokus dalam menonjolkan fitur penting seperti cacat obat sekaligus menekan gangguan dari latar belakang, seperti bayangan atau pantulan cahaya [17], [18].

Keunggulan YOLOv12 semakin diperkuat dengan integrasi modul *Area Attention* dan *Residual Efficient Layer Aggregation Networks* (R-ELAN), di mana *Area Attention* berperan dalam mempertahankan *receptive field* yang luas dengan kompleksitas komputasi yang efisien untuk menjaga detail spasial objek kecil, sedangkan R-ELAN membantu menstabilkan proses pelatihan melalui mekanisme *residual shortcut* dan reparameterisasi. Kombinasi ini memungkinkan YOLOv12 menangkap fitur *fine-grained* secara lebih akurat dibandingkan arsitektur sebelumnya [17].

Berdasarkan keunggulan arsitektur tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja YOLOv12 dalam menangani permasalahan *small object detection* dengan karakteristik *fine-grained* pada kondisi *real-world*. Studi kasus kerusakan morfologi butiran obat digunakan untuk mengevaluasi kemampuan model dalam mendeteksi objek kecil dengan karakteristik visual yang kompleks.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana implementasi model YOLOv12 untuk mendeteksi, menghitung jumlah objek (*counting*), dan mengklasifikasikan objek pada permasalahan *small object detection* dengan karakteristik *fine-grained*?
2. Bagaimana kemampuan model YOLOv12 dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan objek pada skenario *real-world* yang memiliki variasi pencahayaan, latar belakang, dan oklusi objek?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus penelitian dan menghindari pembahasan yang terlalu luas, maka penulis membatasi pokok masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Objek penelitian dibatasi pada butiran obat dalam bentuk tablet dan kapsul dengan berbagai variasi warna dan ukuran.
2. Model hanya melakukan klasifikasi pada kondisi fisik obat, yaitu kategori Normal (utuh) dan *Damaged* (cacat/rusak), tanpa melakukan klasifikasi jenis atau merek nama obat.
3. Kerusakan fisik yang dideteksi mencakup cacat visual yang tampak pada permukaan, seperti retakan, pecahan, penyok, atau perubahan bentuk morfologi yang signifikan.
4. Data masukan berupa gambar diam (*static image*) untuk menangkap fitur detail tekstur.

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengimplementasikan model YOLOv12 untuk mendeteksi, menghitung jumlah objek (*counting*), dan mengklasifikasikan objek pada permasalahan *small object detection* dengan karakteristik *fine-grained* menggunakan studi kasus kerusakan morfologi butiran obat.
2. Mengevaluasi performa model YOLOv12 dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan objek pada skenario real-world yang memiliki variasi pencahayaan, latar belakang, dan oklusi objek.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari tuntasnya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Ilmu Pengetahuan (Teoretis)

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan metode *computer vision*, khususnya pada penerapan YOLOv12 untuk menangani permasalahan *small object detection* dengan karakteristik *fine-grained* pada kondisi *real-world*.

2. Bagi Sektor Kesehatan dan Farmasi (Praktis)

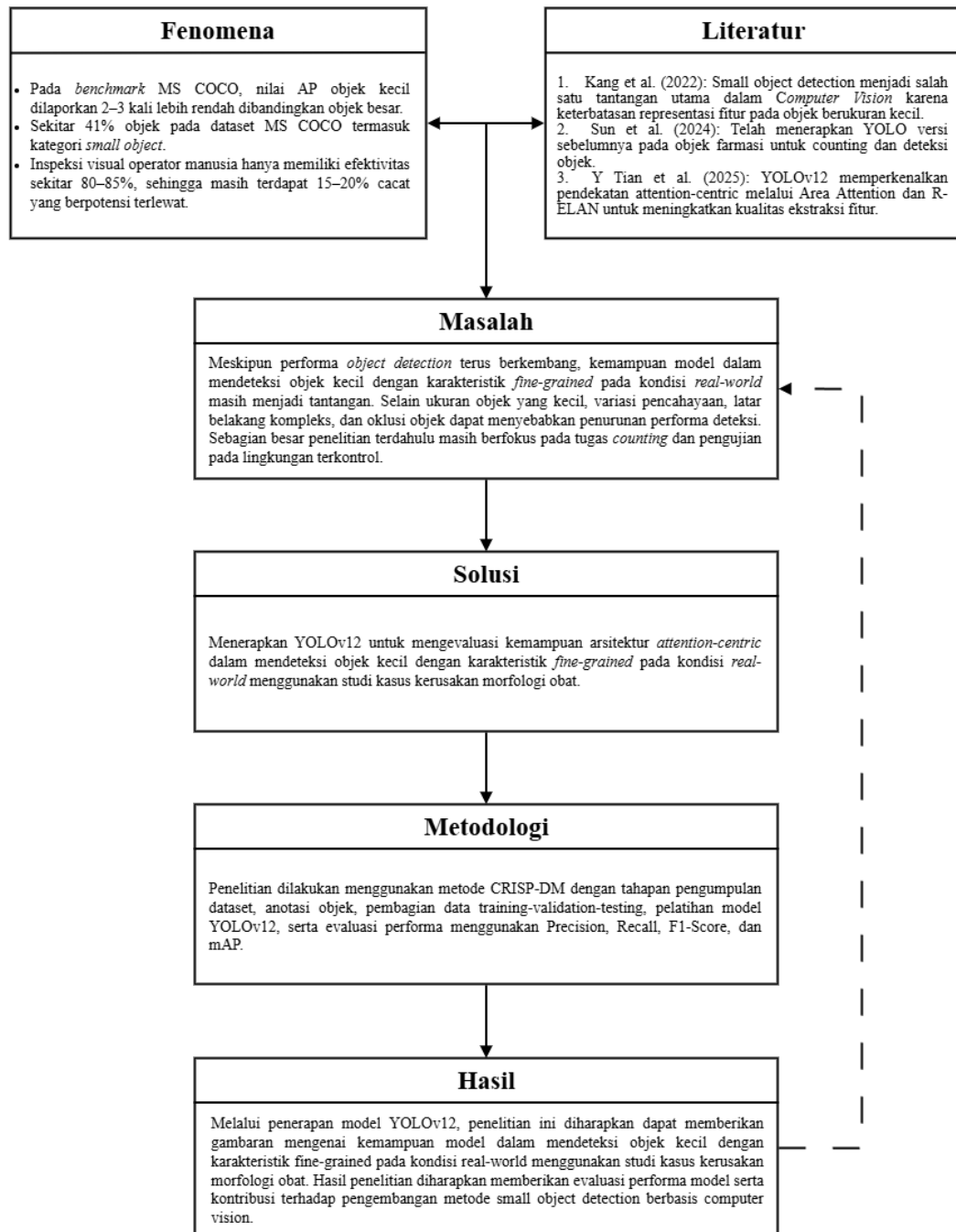
Penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif solusi inspeksi visual otomatis pada prose *quality control* farmasi, khususnya dalam mendeteksi kerusakan morfologi obat secara lebih cepat dan konsisten. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi dasar pengembangan sistem inspeksi berbasis *Computer Vision* untuk mendukung proses pengawasan mutu produk farmasi.

3. Bagi Penulis

Penelitian ini diharapkan dapat menambah pemahaman penulis dalam menerapkan teknologi *Deep Learning* dan *Computer Vision* untuk menyelesaikan permasalahan *small object detection* dengan karakteristik *fine-grained* pada kondisi *real-world*.

1.6 Kerangka Berpikir

Kerangka pemikiran merupakan alur logis yang menggambarkan hubungan antara fenomena yang terjadi, landasan teori yang mendukung, permasalahan yang ditemukan, serta solusi yang diusulkan dalam penelitian. Penelitian ini berfokus pada penerapan model YOLOv12 untuk menangani permasalahan *small object detection* dengan karakteristik *fine-grained* pada kondisi *real-world* menggunakan studi kasus kerusakan morfologi obat. Adapun kerangka pemikiran penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Kerangka Berpikir

Gambar 1.1 menunjukkan alur kerangka berpikir yang menjadi dasar penelitian ini. Penelitian diawali dari fenomena bahwa *small object detection* masih menjadi salah satu tantangan utama dalam *computer vision*. Hal ini ditunjukkan oleh rendahnya performa deteksi objek kecil pada *benchmark* MS COCO serta masih terbatasnya efektivitas inspeksi visual pada bidang farmasi. Fenomena tersebut kemudian diperkuat oleh berbagai penelitian terdahulu mengenai *small object*

detection, penerapan keluarga YOLO pada objek farmasi, serta pengembangan arsitektur *attention-centric* pada YOLOv12.

Berdasarkan fenomena dan kajian literatur tersebut, diperoleh permasalahan bahwa kemampuan model dalam mendeteksi objek kecil dengan karakteristik *fine-grained* pada kondisi *real-world* masih menjadi tantangan. Variasi pencahayaan, latar belakang yang kompleks, dan oklusi objek dapat memengaruhi performa deteksi, sementara sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada tugas *counting* atau pengujian pada lingkungan yang terkontrol.

Untuk menjawab permasalahan tersebut, penelitian ini menerapkan YOLOv12 menggunakan studi kasus kerusakan morfologi obat. Penelitian dilaksanakan berdasarkan tahapan CRISP-DM yang meliputi pengumpulan dan persiapan data, pelatihan model, serta evaluasi menggunakan metrik *Precision*, *Recall*, *F1-Score*, dan *mAP*. Hasil penelitian diharapkan memberikan gambaran mengenai kinerja YOLOv12 dalam mendeteksi objek kecil dengan karakteristik *fine-grained* pada kondisi *real-world* serta menjadi referensi bagi pengembangan metode *small object detection* berbasis *computer vision*.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan memuat sistematika penulisan laporan tugas akhir dengan memberikan gambaran kandungan setiap bab, urutan penulisan, serta keterkaitan antara satu bab dengan bab lainnya dalam sebuah laporan tugas akhir. Berikut sistematika penulisan laporan tugas akhir.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, kerangka pemikiran penelitian, dan sistematika penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas terkait literatur atau penelitian terdahulu, konsep-konsep, teori-teori, model, dan rumus yang menjadi landasan dalam proses analisis permasalahan dengan topik masalah yang diambil.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian berisi penjelasan langkah-langkah dan Teknik yang diterapkan dalam penelitian, diuraikan secara sistematis dan terstruktur.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan dua hal utama, yang pertama adalah pemaparan tentang temuan atau hasil penelitian berdasarkan langkah-langkah penelitian yang telah dilakukan. Selanjutnya adalah pembahasan hasil atau temuan penelitian sebagai jawaban terhadap rumusan masalah penelitian.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berfokus pada penarikan simpulan dari hasil penelitian yang diperoleh serta menjawab pertanyaan penelitian atau rumusan masalah. Selain itu, bab ini juga memberikan saran untuk penelitian selanjutnya yang dapat dilakukan agar meningkatkan kualitas dari penelitian tersebut.

