

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam industri manufaktur elektronik presisi, jaminan kualitas *zero-defect* merupakan sebuah kebutuhan fundamental [1]. Proses inspeksi visual, yang berperan sebagai final *gatekeeper*, masih sering bergantung pada operator manusia yang rentan terhadap *visual fatigue*, *subjective bias*, dan *attention dilution*, sehingga mengancam konsistensi dan keandalan produksi [2]. Permasalahan ini juga dialami secara nyata oleh perusahaan manufaktur Bintan Inti Industrial Estate (BIIE) pada lini produksinya. Persoalan teknis yang spesifik muncul pada mesin Molding, yakni dalam hal deteksi cacat pada *color dot* komponen elektronik. *Color dot* berfungsi sebagai penanda nilai komponen elektronik, sehingga cacat seperti *deformation* (perubahan), blur, *partial missing*, atau total *missing* merupakan cacat fungsional yang kritis. Secara spesifik, setiap perubahan atau ketidaksesuaian pada *Color dot* secara langsung mengindikasikan kesalahan nilai komponen. Hal ini mengharuskan adanya *cutoff* (pemutusan) atau penolakan produk secara instan di lini produksi untuk mencegah kegagalan fungsional pada perakitan akhir (*assembly*) atau bahkan kegagalan produk di tangan pelanggan (*field failure*). Ketidakakuratan inspeksi manual menimbulkan skenario kerugian ganda, produk cacat berisiko menyebabkan *field failure* dan *product recall*, sementara *over-rejection* produk yang masih layak menyebabkan *material waste* dan menurunkan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) [3].

Permasalahan tersebut menunjukkan bahwa metode inspeksi manual sudah tidak memadai untuk menjawab kebutuhan industri yang menuntut akurasi tinggi dan konsistensi tanpa henti. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan otomatis yang mampu melakukan deteksi cacat secara cepat dan presisi [4]. Salah satu bidang yang menawarkan solusi tersebut adalah *computer vision*, yaitu bidang ilmu yang memungkinkan komputer memahami informasi visual, baik berupa gambar maupun video, sehingga dapat memberikan hasil analisis menyerupai penglihatan manusia [5]. Salah satu cabang penting dari *computer vision* adalah deteksi objek (*object detection*). Deteksi objek telah berkembang pesat seiring kemajuan *deep*

learning, yang menawarkan kemampuan analisis yang lebih akurat dan efisien dibandingkan metode tradisional. Berbagai arsitektur *deep learning* telah dikembangkan untuk tugas deteksi, yang secara umum terbagi menjadi dua pendekatan, yaitu *two-stage detectors* dan *one-stage (single-shot) detectors* [6].

Arsitektur *two-stage* seperti R-CNN dan turunannya (*Fast R-CNN*, *Faster R-CNN*, *Mask R-CNN*) menawarkan akurasi yang tinggi seperti yang ditunjukkan dalam aplikasi medis dimana *Faster R-CNN* yang ditingkatkan mencapai presisi rata-rata 0,82 untuk kuantifikasi keparahan osteoartritis [7]. *Faster R-CNN* memiliki komputasi yang kompleks dan kecepatan inferensi yang lebih lambat, sehingga kurang cocok untuk aplikasi *real-time* pada lini produksi. Sebaliknya, arsitektur *one-stage* seperti *Single Shot Multibox Detector* (SSD) dan keluarga YOLO (*You Only Look Once*) dirancang untuk efisiensi dengan mengorbankan sedikit akurasi, menjadikannya lebih sesuai untuk *deployment* pada sistem *embedded* dan aplikasi yang memprioritaskan kecepatan tinggi [8]. Diantara berbagai metode *one-stage detector*, YOLO menjadi salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk aplikasi *real-time*. Hal ini didukung oleh arsitektur CNN yang efisien serta kemampuan inferensi yang tinggi, sehingga YOLO mampu mendeteksi objek secara cepat pada berbagai kondisi. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa YOLO efektif diterapkan pada berbagai konteks deteksi objek *real-time*, termasuk pada objek yang dibedakan berdasarkan karakteristik visual seperti bentuk dan warna [9],[10],[11]. Temuan tersebut menunjukkan bahwa YOLO memiliki potensi yang baik untuk diterapkan pada permasalahan deteksi *color dot*.

Meskipun demikian, masih terdapat ruang pengembangan yang dapat dieksplorasi lebih lanjut. Metode tradisional seperti *template matching* menggunakan OpenCV maupun sensor fotolistrik masih memiliki keterbatasan karena kurang robust terhadap variasi pencahayaan, sudut pengambilan gambar, dan skala objek [12]. Selain itu, penelitian terdahulu yang menerapkan YOLO pada objek berbasis bentuk dan warna belum sepenuhnya mengoptimalkan *pipeline* secara *end-to-end* pada sistem *embedded*, maupun analisis pasca-deteksi (*post-processing*) untuk klasifikasi cacat yang lebih rinci [11]. Kondisi ini menunjukkan

bahwa pendekatan deteksi objek saja belum selalu cukup untuk menyelesaikan kebutuhan inspeksi visual secara menyeluruh.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengusulkan sistem inspeksi visual otomatis berbasis *hybrid pipeline* yang menggabungkan pendekatan *deep learning* dan *image processing*. Pada tahap pertama, YOLOv5 digunakan untuk mendeteksi dan melokalisasi area objek kantong cetak sehingga area inspeksi dapat ditentukan secara konsisten. Pada tahap kedua, area hasil deteksi tersebut diproses menggunakan logika *Region of Interest* (ROI) dan analisis titik warna melalui tahapan transformasi ruang warna HSV, segmentasi citra menggunakan nilai ambang (*threshold*), serta analisis kontur sebagai dasar penentuan kondisi *color dot*. Keputusan akhir kualitas produk, yaitu *PASS* atau *REJECT*, ditetapkan berdasarkan hasil analisis ROI dan titik warna tersebut, bukan semata-mata berdasarkan keluaran klasifikasi dari YOLOv5.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan ketergantungan pada inspeksi manual yang rentan terhadap inkonsistensi dan kelelahan visual (*visual fatigue*), maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem inspeksi visual otomatis untuk mendeteksi cacat *color dot* pada kantong cetak komponen elektronik dengan memanfaatkan YOLOv5 sebagai metode deteksi dan lokalisasi objek, serta dikombinasikan dengan analisis *Region of Interest* (ROI) dan titik warna, sehingga sistem dapat dioptimasi untuk berjalan secara efektif dan *real-time* pada platform *embedded* di lingkungan produksi mesin *Molding*.

C. Batasan Penelitian

Adapun beberapa batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini berfokus pada perancangan dan implementasi sistem inspeksi visual otomatis berbasis *hybrid pipeline* untuk mendeteksi cacat *color dot* pada kantong cetak komponen elektronik di mesin *Molding*. Model YOLOv5 digunakan sebagai metode deteksi dan lokalisasi area objek, sedangkan penentuan jenis cacat dilakukan melalui analisis *Region of*

Interest (ROI) dan titik warna.

2. Jenis cacat *color dot* yang dianalisis dalam penelitian ini dibatasi pada empat kondisi, yaitu *deformation*, *blur*, *partial missing*, dan *total missing*, yang ditentukan berdasarkan hasil analisis citra pada area ROI, bukan sebagai kelas hasil pelatihan langsung model YOLOv5.
3. Model deteksi objek yang digunakan adalah arsitektur YOLOv5. Dataset citra yang digunakan untuk proses pelatihan dan pengujian disusun secara khusus untuk penelitian ini dan mencakup variasi kondisi pencahayaan serta variasi tampilan objek dalam lingkungan produksi nyata.
4. Platform *embedded* yang digunakan untuk implementasi (*deployment*) dan pengujian sistem secara *real-time* adalah Mini PC GMKTEC sebagai representasi lingkungan komputasi dengan sumber daya terbatas.
5. Evaluasi performa sistem difokuskan pada metrik kuantitatif yang meliputi akurasi, presisi, *recall*, dan kecepatan inferensi (*inference speed*) untuk menilai kelayakan operasional sistem dalam lingkungan produksi.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem inspeksi visual otomatis berbasis *hybrid pipeline* pada platform *embedded* dengan memanfaatkan YOLOv5 sebagai metode deteksi dan lokalisasi area objek, serta dikombinasikan dengan analisis *Region of Interest* (ROI) dan titik warna untuk menentukan kondisi cacat *color dot*. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas, akurasi, dan performa *real-time* sistem sebagai alternatif pengganti inspeksi manual pada lingkungan produksi mesin *Molding*.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang akan diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan rancangan sistem inspeksi visual otomatis yang teruji dan mampu memberikan hasil deteksi cacat *color dot* secara objektif, konsisten, dan andal, sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap inspeksi manual yang rentan terhadap *human error* dan kelelahan visual.

2. Menunjukkan bahwa model *deep learning* YOLOv5 dapat diimplementasikan secara efektif pada platform *embedded* dengan sumber daya komputasi terbatas sebagai metode deteksi dan lokalisasi objek, serta tetap memenuhi kebutuhan kecepatan dan efisiensi untuk aplikasi inspeksi *real-time*.

