

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor industri konstruksi baja di Indonesia terus mengalami pertumbuhan yang signifikan seiring dengan meningkatnya kebutuhan pembangunan infrastruktur. Perkembangan tersebut menuntut penerapan standar keamanan dan kualitas struktural yang tinggi pada setiap komponen konstruksi. Salah satu aspek yang memiliki peranan penting dalam menjaga integritas struktur adalah kualitas sambungan las permanen. Sambungan las berfungsi sebagai pengikat utama antar komponen baja, sehingga kegagalan pada titik sambungan dapat berdampak serius terhadap keselamatan operasional serta ketahanan struktur secara keseluruhan. Oleh karena itu, proses inspeksi pengelasan (*welding inspection*) menjadi tahapan penting dalam sistem pengendalian mutu konstruksi baja untuk memastikan setiap hasil pengelasan memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan, seperti standar *ISO 5817:2023*. Melalui proses inspeksi tersebut, berbagai jenis cacat pengelasan dapat diidentifikasi sejak dini sehingga potensi kegagalan struktur dapat diminimalkan.

Dalam praktiknya, proses inspeksi kualitas pengelasan di CV. Mulia Mandiri Konstruksi masih mengandalkan metode konvensional melalui pengamatan visual secara manual di lapangan. Saat ini, proses pengendalian mutu tersebut secara keseluruhan hanya ditangani oleh 1 (satu) orang Kepala *Workshop* yang dibantu oleh 2 (dua) orang inspektur, di mana satu inspektur bertugas melakukan pemeriksaan saat proses pengelasan selesai, dan satu inspektur lainnya melakukan pengecekan setelah proses pengecatan selesai. Keterbatasan jumlah sumber daya manusia ini membuat proses pemeriksaan memakan waktu yang cukup lama, yakni rata-rata menghabiskan waktu sekitar 15 hingga 20 menit untuk setiap pengecekan satu balok baja. Kendala waktu inspeksi ini menjadi hambatan yang krusial mengingat CV. Mulia Mandiri Konstruksi secara rutin menangani volume pekerjaan baja yang sangat masif. Berdasarkan rekam jejaknya, perusahaan telah menyelesaikan berbagai proyek

besar seperti pembangunan ARUNIKA KUNINGAN, KAJENE KUNINGAN, dan PT. HLI GREEN POWER. Sementara itu, saat ini beban kerja perusahaan juga masih sangat tinggi karena sedang berfokus menangani proyek dari PT. VINRELL INDONESIA PERSADA serta struktur baja pada MASJID PONPES AL-BAHJAH CIAWIGEBANG. Pemeriksaan manual yang lambat pada setiap titik sambungan las di tengah padatnya proyek-proyek tersebut sangat berpotensi menghambat ritme produksi secara keseluruhan.

Selain memakan waktu, metode manual tersebut juga memicu berbagai kendala operasional yang terukur. Berdasarkan hasil wawancara dengan Bapak Adi Setiabudi selaku Direktur Utama CV. Mulia Mandiri Konstruksi, beban kerja inspeksi yang tinggi dengan jumlah personel yang terbatas menyebabkan tingkat ketelitian pemeriksa konsisten menurun pada sore hari akibat faktor kelelahan. Penurunan konsentrasi ini berdampak pada tingginya tingkat kesalahan (*human error*) di lapangan, di mana cacat dengan batas fisik tipis seperti *undercut* dan *Excess Weld* sering kali terlewat. Jika cacat tersebut lolos, perusahaan terpaksa melakukan pengerjaan ulang (*rework*) yang secara signifikan memakan tambahan waktu produksi. Untuk meminimalisir risiko kegagalan struktural pada proyek-proyek besar tersebut, perusahaan pada akhirnya terpaksa mengandalkan layanan jasa inspeksi eksternal pihak ketiga. Hal ini menimbulkan pembengkakan biaya operasional perusahaan yang cukup besar, di mana biaya jasa inspeksi eksternal yang harus dikeluarkan mencapai sekitar Rp 5.000.000 hingga Rp 8.000.000 untuk setiap satu kali pelaksanaan inspeksi. Berbagai kondisi yang terukur ini secara nyata menegaskan bahwa perusahaan sangat membutuhkan instrumen pendeteksi cacat otomatis yang mandiri, objektif, dan jauh lebih efisien secara ekonomi.

Untuk mengatasi kesenjangan antara kebutuhan inspeksi yang *presisi* dan keterbatasan sumber daya ahli, diperlukan suatu solusi deteksi dini yang mampu bekerja secara mandiri, objektif, dan ekonomis. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pengembangan aplikasi berbasis Android yang dapat digunakan untuk membantu proses inspeksi otomatis pada area *workshop*. Sistem dikembangkan menggunakan pendekatan metode *Prototype*

sehingga memungkinkan proses pengembangan yang iteratif serta mampu memberikan umpan balik cepat kepada pengguna. Melalui aplikasi tersebut, pekerja diharapkan dapat memperoleh informasi mengenai kelayakan hasil pengelasan secara langsung berdasarkan kriteria *Quality Level* yang ditetapkan dalam standar *ISO 5817:2023*.

Solusi yang diusulkan memanfaatkan teknologi *Computer Vision* berbasis *Deep learning* dengan algoritma *YOLO (You Only Look Once)*. Algoritma ini dipilih karena arsitektur *Backbone*, *Neck*, dan *Head* yang dimilikinya mampu mengekstraksi fitur citra secara hierarkis sehingga efektif dalam melakukan deteksi objek secara *real-time*. Dalam penelitian ini digunakan pendekatan *instance segmentation*, bukan hanya *object detection* berbasis *bounding box*. Pendekatan tersebut dipilih karena cacat pengelasan seperti *undercut* dan *Excess Weld* umumnya memiliki bentuk yang tidak beraturan dengan batas area yang kompleks. Representasi menggunakan kotak pembatas sering kali tidak mampu menggambarkan area cacat secara *presisi*. Dengan menggunakan *instance segmentation*, sistem dapat mengidentifikasi sekaligus memetakan bentuk serta batas area cacat secara lebih detail hingga tingkat piksel, sehingga meningkatkan akurasi dalam proses identifikasi kondisi pengelasan (Krisdianto et al., 2025). Agar aplikasi dapat beroperasi secara optimal di lingkungan *workshop* tanpa ketergantungan pada koneksi internet, model yang telah dilatih kemudian dikonversi ke format TensorFlow Lite (TFLite) sehingga dapat dijalankan secara lokal (*on-device*) pada perangkat Android. Pendekatan ini memungkinkan proses deteksi dilakukan secara lebih ringan, responsif, dan praktis pada perangkat *mobile*.

Di samping aspek portabilitas lokal tersebut, pemilihan varian arsitektur model juga menjadi faktor krusial yang menentukan keberhasilan implementasi pada perangkat portabel. Algoritma YOLOv8 menyediakan beberapa varian skala model berdasarkan kompleksitas jaringan dan jumlah parameternya, yaitu Nano (n), Small (s), Medium (m), Large (l), hingga Extra Large (x). Dalam penelitian ini, varian YOLOv8n-seg (Nano) dipilih berdasarkan alasan teknis berupa limitasi perangkat keras target di lingkungan

lapangan, di mana aplikasi ini ditargetkan untuk beroperasi pada perangkat Android dengan kapasitas RAM minimal 8 GB. Dibandingkan dengan varian yang lebih besar (s, m, l, x), varian Nano dirancang khusus sebagai model yang paling ringkas dengan jumlah parameter paling sedikit. Batasan spesifikasi perangkat mobile menuntut efisiensi penggunaan memori dan daya yang ketat agar tidak memicu kendala *out-of-memory* (OOM) atau pemanasan berlebih (*overheating*) pada prosesor *smartphone*. Oleh karena itu, penggunaan varian Nano memastikan proses inferensi *on-device* tetap berjalan secara ringan, responsif, dan optimal dalam menghasilkan visualisasi batas piksel cacat secara kontinu, tanpa harus mengorbankan stabilitas kinerja sistem operasi Android.

Upaya untuk mengotomatisasi proses deteksi cacat pengelasan guna mengurangi subjektivitas inspeksi manual telah banyak dilakukan oleh peneliti melalui berbagai pendekatan teknologi. Berbagai penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan metode *Computer Vision* dan *Deep learning* memiliki potensi besar dalam meningkatkan akurasi serta efisiensi proses inspeksi pengelasan. Ringkasan dari beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan topik ini disajikan pada Tabel 1.1 Penelitian Terdahulu sebagai bagian dari kajian literatur penelitian:

Tabel 1. 1 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Metode	Dataset	Hasil
1.	Rappe et al. (2025)	Application of YOLOv8 in Fusion Welding Defect Detection on Carbon Steel for Potential Remote Visual Inspection	YOLOv8 + Kamera 4K UHD	Jenis <i>Porosity</i> , <i>Undercut</i> Dengan jumlah Dataset 1.200 citra	mAP sebesar 97,2% dengan kecepatan inferensi 42 FPS, sangat efektif untuk inspeksi <i>real-time</i> .
2.	Krisdianto et al. (2025)	Pengembangan Sistem Pengenalan Objek Multi-Kelas Berbasis Segmentasi Citra dengan YOLOv11 dan Streamlit	YOLOv11 + Streamlit	Jenis <i>Crack</i> , <i>Porosity</i> , <i>Spatters</i> Dengan jumlah Dataset 1.109 citra	Sistem segmentasi berhasil mengklasifikasikan cacat secara otomatis melalui <i>dashboard</i> interaktif.
3.	Chen et al. (2025)	A Welding Defect Detection	YOLOv8 + SCConv	Jenis <i>Burn through</i> , <i>Crack</i> , <i>Porosity</i> , <i>Slag</i>	Modifikasi arsitektur SCConv meningkatkan <i>presisi</i> dari 0,398

		Algorithm Based on <i>Deep learning</i>		Dengan jumlah Dataset 3.000 citra	menjadi 0,627 pada dataset yang kompleks.
4.	Hestiningrum et al. (2024)	Deteksi Cacat Hasil Pengelasan <i>Shielded Metal Arc Welding</i> (SMAW) Berbasis <i>Image Processing</i> Menggunakan YOLOv8	YOLOv8 (Small, Medium, Large)	Jenis <i>Slag inclusion, Spatter</i> Dengan jumlah Dataset 290 citra	Varian YOLOv8m memberikan akurasi (mAP) tertinggi sebesar 0,904 dibandingkan varian lainnya.
5.	Al Amin et al. (2023)	Rancang Bangun Aplikasi <i>Intelligent Visual Scanner</i> Berbasis CNN untuk Identifikasi Cacat pada Hasil Pengelasan	<i>Convolutio nal Neural Network</i> (CNN)	Jenis <i>Undercut, Excess Weld</i> Dengan jumlah Dataset 300 citra	Akurasi <i>training</i> mencapai 98% dan telah berhasil diuji coba pada perangkat <i>smartphone</i> . spesifikasi kamera dan fokus perangkat
6.	Cengil (2024)	Weld Defect Detection with YOLOv10	YOLOv10 (<i>Anchor- free</i>)	Jenis <i>Bad Weld, Good Weld, Defect</i> Dengan jumlah Dataset 1.619 citra	Model mencapai nilai <i>Precision</i> 0,939 dan <i>Recall</i> 0,91, menunjukkan efisiensi tinggi pada arsitektur terbaru.

Berdasarkan Tabel 1.1 Penelitian Terdahulu, Penelitian mengenai deteksi cacat pengelasan telah berkembang pesat dengan fokus pada efisiensi dan akurasi, sebagaimana dilakukan oleh (Rappe et al., 2025) yang menerapkan YOLOv8 dan kamera 4K pada 1.200 citra untuk mendeteksi *porosity* dan *undercut* dengan mAP 97,2%. Perkembangan arsitektur dilanjutkan oleh (Krisdianto et al., 2025) menggunakan YOLOv11 dan Streamlit pada 1.109 citra untuk klasifikasi multi-kelas seperti *crack* dan *spatters*, sementara (Y. Chen et al., 2025) mengoptimasi YOLOv8 dengan modul SCConv pada 3.000 citra untuk meningkatkan *presisi* deteksi pada berbagai jenis cacat termasuk *burn through* dan *slag*. Di sisi lain, (Hestiningrum et al., 2024) memberikan kontribusi melalui evaluasi komparatif varian YOLOv8 pada 290 citra yang menunjukkan keunggulan YOLOv8m dalam mendeteksi *slag inclusion*, sedangkan (Amin et al., 2023) merintis implementasi pada perangkat *mobile* menggunakan arsitektur CNN dengan akurasi *training* 98% pada 300 citra

untuk cacat *undercut*. Terakhir, (Cengil, 2024) membuktikan potensi arsitektur terbaru YOLOv10 pada 1.619 citra dengan perolehan nilai *precision* 0,939, yang menegaskan bahwa integrasi *deep learning* mampu memberikan solusi inspeksi kualitas pengelasan yang lebih cepat dan objektif dibandingkan metode manual.

Berdasarkan permasalahan dan potensi solusi yang telah dijabarkan, maka dilakukan penelitian dengan judul: **“Rancang Bangun Aplikasi Deteksi Cacat Pengelasan Baja Menggunakan Algoritma You Only Look Once (YOLO)”** sebagai upaya untuk menyediakan alternatif sistem inspeksi yang objektif, ekonomis, dan aplikatif dalam mendukung penjaminan mutu pengelasan di industri konstruksi baja.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, permasalahan yang muncul dalam penelitian ini dapat diidentifikasi sebagai berikut:

1. Faktor kelelahan dan perbedaan perspektif kepala *workshop* selaku inspektur mengakibatkan rendahnya ketepatan deteksi jenis serta lokasi cacat pengelasan pada proses inspeksi manual.
2. Karakteristik visual cacat yang beragam seperti *undercut* dan *Excess Weld* menghambat konsistensi identifikasi kualitas pengelasan yang dilakukan oleh kepala *workshop* di CV. Mulia Mandiri Konstruksi.
3. Ketergantungan pada jasa inspeksi pihak ketiga meningkatkan biaya operasional perusahaan karena belum tersedianya aplikasi deteksi cacat otomatis yang mandiri untuk meringankan beban kerja inspeksi kepala *workshop*.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun aplikasi deteksi cacat pengelasan baja berbasis *Computer Vision* yang dapat digunakan untuk membantu proses inspeksi kualitas pengelasan di CV. Mulia Mandiri Konstruksi?

2. Bagaimana mengimplementasikan dan mengevaluasi performa algoritma YOLO pada aplikasi deteksi cacat pengelasan baja guna mencapai target tingkat akurasi tinggi (mAP di atas 90%) yang diukur menggunakan parameter pengujian *Mean Average Precision (mAP)*, *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score*?

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus dan pembahasannya tidak terlalu luas, maka ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini berfokus pada deteksi kualitas hasil pengelasan pada logam baja karbon dengan tiga kategori yaitu *Good Welding*, *Undercut*, dan *Excess Weld*, yang mengacu pada standar kualitas sambungan las berdasarkan *ISO 5817:2023* mengenai tingkat penerimaan ketidaksempurnaan pada sambungan las hasil proses *fusion welding*.
2. Metode yang digunakan dalam proses deteksi adalah algoritma YOLOv8n-seg
3. Dataset yang digunakan merupakan dataset sekunder yang diperoleh melalui platform Roboflow, dengan total 1.800 citra pengelasan, yang terdiri dari:
 - *Good Welding* sebanyak 600 citra,
 - *Undercut* sebanyak 600 citra,
 - *Excess Weld* sebanyak 600 citra.
4. Pembagian dataset dilakukan dengan rasio 70% data latih (training), 20% data validasi (validation), dan 10% data uji (testing).
5. Aplikasi yang dikembangkan merupakan aplikasi berbasis Android, yang diuji pada perangkat dengan spesifikasi minimum berupa prosesor octa-core, $\text{RAM} \geq 8 \text{ GB}$.
6. Citra cacat pengelasan diambil pada kondisi operasional dengan pencahayaan yang cukup untuk meminimalkan pantulan cahaya (*glare*) pada permukaan baja yang reflektif.

7. Pengambilan citra dilakukan menggunakan kamera *smartphone* dengan resolusi minimal 12 MP (Megapiksel) yang dilengkapi fitur *Auto Focus* untuk menjaga ketajaman detail cacat las.
8. Pengambilan citra pengelasan dibatasi hanya menggunakan sudut pengambilan gambar (*camera angle*) dari arah depan (frontal) untuk menjaga konsistensi data citra.

1.5 Tujuan Penelitian

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

1. Merancang dan membangun aplikasi deteksi cacat pengelasan baja berbasis *Computer Vision* yang dapat digunakan untuk membantu proses inspeksi kualitas pengelasan di CV. Mulia Mandiri Konstruksi.
2. Mengimplementasikan dan mengevaluasi performa algoritma YOLO pada aplikasi deteksi cacat pengelasan baja guna mencapai target tingkat akurasi tinggi (mAP di atas 90%) yang diukur menggunakan parameter pengujian *Mean Average Precision (mAP)*, *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score*.

1.6 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoretis

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang *Computer Vision* dan kecerdasan buatan, dengan cara:

 - a. Menambah referensi ilmiah terkait penerapan algoritma YOLO dengan pendekatan segmentasi dalam mendeteksi cacat pengelasan baja.
 - b. Memberikan gambaran empiris mengenai performa algoritma YOLO dalam menangani objek cacat pengelasan yang memiliki karakteristik visual kompleks.
 - c. Menjadi bahan rujukan bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan deteksi cacat industri berbasis citra digital dan *deep learning*.
2. Manfaat Praktis

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang dapat diterapkan secara langsung, antara lain:

a. Bagi CV. Mulia Mandiri Konstruksi

Aplikasi yang dikembangkan dapat membantu proses inspeksi kualitas pengelasan secara lebih objektif, cepat, dan konsisten, sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap inspeksi manual dan jasa eksternal.

b. Bagi tenaga kerja atau operator

Aplikasi ini dapat digunakan sebagai alat bantu dalam melakukan deteksi dini cacat pengelasan tanpa memerlukan keahlian inspeksi khusus.

c. Bagi peneliti atau pengembang sistem

Penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam mengembangkan aplikasi deteksi cacat industri berbasis Android menggunakan algoritma YOLO.

1.7 Pertanyaan Penelitian

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

1. Apakah aplikasi deteksi cacat pengelasan baja berbasis *Computer Vision* dapat dirancang dan dibangun untuk membantu proses inspeksi kualitas pengelasan di CV. Mulia Mandiri Konstruksi?
2. Apakah algoritma YOLO dapat diimplementasikan dan dievaluasi performanya pada aplikasi deteksi cacat pengelasan baja guna mencapai target tingkat akurasi tinggi (mAP di atas 90%) yang diukur menggunakan parameter pengujian Mean Average Precision (mAP), Precision, Recall, dan F1-Score?

1.8 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan pertanyaan penelitian yang telah dirumuskan, maka hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Aplikasi deteksi cacat pengelasan baja berbasis *Computer Vision* dapat dirancang dan dibangun untuk membantu proses inspeksi kualitas pengelasan di CV. Mulia Mandiri Konstruksi.
2. Algoritma YOLO dapat diimplementasikan dan dievaluasi performanya pada aplikasi deteksi cacat pengelasan baja, serta diproyeksikan mampu mencapai target tingkat akurasi tinggi (mAP di atas 90%) yang diukur menggunakan parameter pengujian Mean Average Precision (mAP), Precision, Recall, dan F1-Score.