

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam industri minuman pada skala Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM), botol *polyethylene terephthalate* (PET) atau plastik merupakan komponen kunci yang memiliki dampak signifikan terhadap kualitas produk, keamanan, dan biaya [1]. Proses inspeksi botol sebelum tahap pengisian menjadi bagian penting dalam menjaga mutu produk akhir. Pada praktiknya, inspeksi botol plastik minuman di lingkungan UMKM masih banyak dilakukan secara manual melalui pengamatan visual oleh operator [2].

Inspeksi manual memiliki keunggulan fleksibilitas dan kemampuan adaptasi manusia dalam menganalisis berbagai bentuk cacat. Aktivitas produksi yang berlangsung secara terus-menerus dan berulang dapat menyebabkan kelelahan kerja dan penurunan konsentrasi, sehingga hasil inspeksi menjadi kurang konsisten [3]. Kondisi ini semakin terasa ketika operator harus memeriksa botol dalam jumlah besar dengan kecepatan produksi tertentu [3].

Deformasi pada botol *polyethylene terephthalate* (PET), seperti penyok dan meleleh, merupakan cacat yang sering sulit terdeteksi secara konsisten. Deformasi ringan ini tidak selalu terlihat jelas dalam waktu inspeksi yang singkat, sehingga botol deformasi berpotensi lolos ke tahap pengisian dan pengepakan. Hal ini dapat menimbulkan berbagai permasalahan teknis, seperti ketidakstabilan botol saat pengisian, ketidaksempurnaan dalam proses penutupan, serta meningkatnya risiko kebocoran selama penyimpanan dan distribusi [4]. Penyebab deformasi botol PET bisa beragam, termasuk tekanan fisik yang diterima selama pengemasan, penyimpanan, atau transportasi, serta paparan suhu tinggi baik saat pembuatan botol atau saat botol terpapar panas selama distribusi.

Permasalahan deformasi botol juga ditemukan pada industri minuman skala UMKM. Penelitian pada salah satu UMKM susu pasteurisasi menunjukkan bahwa dari 658 botol yang diproduksi selama 10 hari pengamatan, ditemukan 46 kemasan cacat atau sekitar 7% dari total produksi. Botol penyok merupakan jenis cacat yang paling dominan, yaitu sebanyak 24 botol atau 52% dari keseluruhan cacat kemasan.

Cacat lain yang ditemukan meliputi label miring, label terbalik, dan tutup botol yang tidak rapat. Terjadinya botol penyok dipengaruhi oleh kondisi botol dari pemasok, proses pengiriman, dan penumpukan kemasan yang kurang teratur, sedangkan cacat lainnya berkaitan dengan kurangnya konsentrasi pekerja serta proses pengemasan yang masih dilakukan secara manual [5]. Temuan tersebut menunjukkan bahwa deformasi botol merupakan permasalahan nyata pada industri minuman skala UMKM dan memerlukan proses inspeksi yang lebih konsisten.

Dampak deformasi botol tidak hanya terbatas pada aspek teknis, tetapi juga memengaruhi tampilan kemasan yang berperan dalam membentuk persepsi konsumen terhadap mutu produk [6]. Kondisi ini dapat menyebabkan meningkatnya jumlah produk cacat, pemborosan bahan baku, serta potensi kerugian ekonomi bagi pelaku UMKM. Proses inspeksi yang mampu bekerja secara konsisten diperlukan untuk menjaga kualitas produk dan menekan tingkat kegagalan kemasan [7].

Industri minuman berskala besar umumnya telah menerapkan sistem inspeksi otomatis berbasis *machine vision* dan kecerdasan buatan yang mampu melakukan deteksi cacat secara *real-time*. Sistem tersebut memiliki biaya investasi dan perawatan yang relatif tinggi, sehingga sulit diterapkan pada skala UMKM. Keterbatasan modal dan infrastruktur teknologi menjadi kendala utama dalam adopsi sistem inspeksi otomatis di lingkungan UMKM [8].

Permasalahan utama dalam inspeksi botol plastik minuman pada skala UMKM terletak pada keterbatasan konsistensi dalam pekerjaan inspeksi yang bersifat repetitif, bukan pada ketidakmampuan manusia. Sistem bantu inspeksi berbasis teknologi diperlukan untuk mendukung kinerja operator agar proses pemeriksaan dapat berlangsung lebih stabil, konsisten, dan *real-time*, khususnya dalam mendeteksi deformasi botol plastik minuman [9].

Perkembangan teknologi *computer vision* dan *artificial intelligence* memungkinkan penerapan sistem inspeksi kualitas berbasis citra digital di berbagai sektor industri. *Computer vision* memungkinkan komputer menganalisis informasi visual dari citra atau video, sedangkan *artificial intelligence* memungkinkan sistem mengambil keputusan berdasarkan pola yang dipelajari dari data [10]. Kombinasi

kedua teknologi ini mendukung pendeteksian cacat fisik secara otomatis dengan tingkat konsistensi yang lebih tinggi dibandingkan inspeksi manual [11].

Pendekatan *object detection* banyak digunakan dalam sistem *computer vision* untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan objek dalam suatu citra. Pada konteks inspeksi botol, metode ini dimanfaatkan untuk mengenali deformasi pada permukaan botol. YOLO (*You Only Look Once*) dikenal sebagai salah satu algoritma *object detection* yang dirancang untuk melakukan deteksi secara *real-time* dengan kecepatan dan akurasi tinggi [12].

YOLOv8 merupakan salah satu pengembangan dari keluarga algoritma YOLO yang dirancang untuk mendukung proses deteksi objek secara cepat dan efisien. Algoritma ini memiliki kemampuan deteksi multi-skala sehingga dapat mengenali objek dengan ukuran yang berbeda pada citra. Dalam penelitian ini, YOLOv8 digunakan karena mampu mendukung proses deteksi secara *real-time* dengan kebutuhan komputasi yang relatif ringan. Karakteristik tersebut sesuai untuk sistem penyortiran botol otomatis yang menggunakan laptop sebagai perangkat pemrosesan, tanpa memerlukan GPU eksternal. [13]. Dalam penelitian ini, varian yang digunakan adalah YOLOv8n atau YOLOv8 nano. Pemilihan YOLOv8n disesuaikan dengan kebutuhan sistem yang harus melakukan deteksi secara *real-time* saat sistem dijalankan. Varian ini memiliki ukuran model yang lebih ringan dibandingkan varian YOLOv8 lainnya, sehingga proses inferensi atau pendeteksian citra dari webcam dapat dilakukan lebih cepat [14].

Penelitian ini berfokus pada pengembangan dan integrasi model YOLOv8 ke dalam sistem penyortiran berbasis konveyor. Prototipe konveyor mini digunakan sebagai media pergerakan botol secara kontinu. Kamera dipasang pada posisi tetap untuk mengambil citra botol, kemudian citra diproses oleh model YOLOv8 untuk mendeteksi deformasi. Hasil deteksi digunakan sebagai dasar pengendalian mekanisme penyortiran sehingga botol dapat diarahkan ke jalur yang sesuai. Integrasi *machine vision* dengan sistem konveyor dan aktuator mendukung proses inspeksi yang berjalan terus-menerus dan terukur [15].

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem penyortiran botol plastik minuman otomatis berbasis *computer vision* menggunakan YOLOv8 guna mendeteksi deformasi botol secara *real-time*.

1.2. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai dasar untuk melihat perkembangan penelitian yang relevan serta membedakan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya. Bagian ini memuat beberapa studi yang berkaitan dengan sistem penyortiran otomatis, pengolahan citra digital, dan penerapan algoritma YOLO dalam proses deteksi objek. Adapun penelitian sebelumnya adalah sebagai berikut yang ditunjukkan pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Penelitian terdahulu

NO	JUDUL	PENELITI	TAHUN
1	Sistem Kontrol <i>Color Sorting Machine</i> dengan Pengolahan Citra Digital [16].	A. Al Chairi, Riki Mukhaiyar.	2023
2	Pendeteksian Objek Hasil Pengepresan Kaleng dan Botol dengan Metode YOLO yang Diaplikasikan pada Mesin Sortir Pembelajaran PBL [17].	A. Diono, M. Jaka W. Wicaksono, Adlian Jefiza, Dimas Rama Prayudha.	2024
3	Pengembangan Sistem Deteksi Objek Botol <i>Real-Time</i> dengan YOLOv8 untuk Aplikasi Vision [18].	Dedi Triyanto, Muhammad Zidan, Mochamad Wahyudi, Lise Pujiastuti, Sumanto.	2024
4	Pengaruh Jarak Objek Citra pada Model Deteksi dan Klasifikasi Botol Plastik Menggunakan YOLOv8 [19].	N. Rosanti, R. Latifah, S. Munir, I. A. Q. Maududi.	2024
5	<i>Application of YOLO V8 for Product Defect Detection in Manufacturing Companies</i> [20].	Malikil Jamal, Sutan Faisal, Dwi Sulistya Kusumaningrum, Tatang Rohana.	2024
6	Rancang Bangun Alat Klasifikasi Botol Bekas Menggunakan	Firdaus Sulaiman Syarif, Rika Revina.	2025

NO	JUDUL	PENELITI	TAHUN
	<i>Computer Vision</i> untuk Mengurangi Sampah Plastik [21].		

Penelitian [16] mengembangkan *Color Sorting Machine* menggunakan pengolahan citra digital berbasis mikrokontroler. Sistem ini dipakai untuk memilah objek berdasarkan warna dengan memanfaatkan sensor warna HSV dan aktuator pneumatik. Hasil pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan deteksi mencapai 100 persen pada tiga warna, yaitu merah, biru, dan kuning. Metode ini dipilih karena sederhana, mudah diimplementasikan, dan sesuai untuk penyortiran berbasis warna. Namun, penelitian tersebut masih terbatas pada klasifikasi warna dan belum memanfaatkan *deep learning* seperti YOLO, sehingga belum mampu mendeteksi karakteristik visual yang lebih kompleks, khususnya deformasi botol plastik minuman. Penelitian ini tetap relevan sebagai dasar integrasi antara sistem mekanik dan pengolahan citra.

Penelitian [17] membahas penerapan metode YOLO untuk mendeteksi objek hasil pengepresan kaleng dan botol pada mesin sortir berbasis *Project-Based Learning* (PBL). YOLO digunakan karena mampu mengenali objek secara otomatis melalui citra kamera dan sesuai untuk sistem sortir yang membutuhkan proses deteksi cepat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode YOLO dapat diterapkan untuk mendeteksi bentuk botol dan kaleng secara otomatis pada sistem sortir. Namun, fokus penelitian ini masih pada objek hasil pengepresan, bukan pada inspeksi kecacatan fisik botol PET sebelum proses pengisian atau pengepakan. Dengan demikian, penelitian ini lebih diarahkan pada deteksi botol normal dan botol deformasi, lalu dihubungkan dengan mekanisme penyortiran otomatis.

Penelitian [18] mengembangkan sistem deteksi objek botol secara *real-time* menggunakan YOLOv8. YOLOv8 dipilih karena mampu melakukan deteksi objek secara cepat dan efisien, sehingga sesuai untuk aplikasi berbasis kamera yang membutuhkan hasil langsung. Dataset yang digunakan terdiri dari 2.900 gambar yang dilatih selama 25 *epoch* di Google Colab. Hasil pengujian menunjukkan nilai mAP sebesar 99,5 persen, *precision* 99,7 persen, dan *recall* 99,5 persen. Hasil tersebut menunjukkan bahwa YOLOv8 efektif untuk mendeteksi objek botol secara

real-time. Namun, penelitian ini masih berfokus pada keberadaan dan bentuk objek, belum pada deteksi kecacatan fisik seperti penyok dan meleleh. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi dasar untuk menerapkan YOLOv8 pada sistem penyortiran botol PET berdasarkan kondisi deformasi fisik.

Penelitian [19] meneliti pengaruh jarak objek citra terhadap performa model YOLOv8 dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan botol plastik. YOLOv8 digunakan karena model ini dapat bekerja pada proses deteksi objek berbasis citra dengan hasil yang cepat dan cukup stabil. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa jarak kamera terhadap objek memengaruhi akurasi deteksi. Model YOLOv8 memperoleh akurasi 100 persen pada jarak optimal, tetapi performanya menurun ketika jarak pengambilan citra berbeda dari kondisi pelatihan. Temuan ini relevan dengan penelitian ini karena posisi kamera dan jarak pengambilan citra menjadi faktor penting dalam sistem deteksi berbasis webcam. Karena itu, penelitian ini menggunakan temuan tersebut sebagai acuan dalam menguji pengaruh jarak kamera terhadap kemampuan sistem mendeteksi botol normal dan botol deformasi.

Penelitian [20] membahas penerapan YOLOv8 untuk mendeteksi cacat produk pada perusahaan manufaktur, khususnya cacat berupa gelembung pada produk. YOLOv8 digunakan karena mampu mendeteksi cacat visual secara cepat dan cukup efisien untuk kebutuhan inspeksi kualitas. Penelitian ini menggunakan 100 data citra yang dibagi menjadi 80 data latih dan 20 data uji, kemudian menguji beberapa varian YOLOv8, yaitu YOLOv8n, YOLOv8s, YOLOv8m, YOLOv8l, dan YOLOv8x. Hasil terbaik diperoleh pada YOLOv8m dengan nilai mAP 0,712, precision 0,764, recall 0,659, dan F1-score 0,708. Hasil ini menunjukkan bahwa YOLOv8 dapat digunakan untuk deteksi cacat produk dengan cukup baik, tetapi penelitian tersebut masih berfokus pada cacat gelembung pada produk manufaktur, bukan pada deformasi fisik botol PET seperti penyok dan meleleh, serta belum diintegrasikan dengan sistem penyortiran otomatis berbasis konveyor dan aktuator.

Penelitian [21] merancang alat klasifikasi botol bekas menggunakan *computer vision* untuk mendukung pengurangan sampah plastik. Sistem ini menggunakan YOLOv8 yang dilatih dengan 571 citra botol melalui Roboflow dan diimplementasikan pada Raspberry Pi 4B. Model mampu mendeteksi dan

mengklasifikasikan botol berdasarkan ukuran kecil, sedang, dan besar dengan akurasi 93,3% serta dapat bekerja secara *real-time*. Namun, penelitian tersebut belum membahas aspek inspeksi kualitas kemasan, khususnya deteksi kecacatan fisik pada botol plastik minuman. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan pendekatan yang lebih spesifik, yaitu mendeteksi deformasi fisik berupa penyok dan meleleh pada botol PET serta mengintegrasikannya dengan sistem penyortiran otomatis.

Berdasarkan uraian penelitian terdahulu, terlihat bahwa pendekatan *computer vision* dan algoritma YOLO telah banyak digunakan untuk deteksi objek dan klasifikasi botol. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada deteksi keberadaan objek, klasifikasi ukuran, atau pengaruh kondisi citra, belum pada deteksi deformasi fisik botol PET berupa penyok dan meleleh. Selain itu, penelitian yang ada umumnya belum mengintegrasikan hasil deteksi dengan sistem penyortiran otomatis berbasis konveyor dan aktuator dalam satu rangkaian kerja yang langsung dapat diterapkan pada prototipe. Kondisi ini menunjukkan bahwa masih diperlukan sistem yang tidak hanya mampu mendeteksi kondisi botol secara *real-time*, tetapi juga dapat menyalurkan hasil deteksi tersebut ke mekanisme penyortiran secara otomatis.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem penyortiran botol PET otomatis berbasis *computer vision* menggunakan YOLOv8n guna mendeteksi botol normal dan botol deformasi secara *real-time*. YOLOv8n dipilih karena memiliki ukuran model yang lebih ringan dan sesuai untuk perangkat dengan sumber daya terbatas, sehingga proses deteksi dapat berjalan cepat pada penggunaan webcam dan laptop. Hasil deteksi kemudian digunakan sebagai dasar pengendalian aktuator agar botol dapat diarahkan ke jalur yang sesuai. Dengan pendekatan ini, penelitian ini tidak hanya menekankan pada kemampuan deteksi, tetapi juga pada integrasi sistem penyortiran yang lebih praktis, responsif, dan sesuai untuk kebutuhan prototipe.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan dan implementasi sistem penyortiran botol berdasarkan kondisi fisik menggunakan YOLOv8 yang dapat bekerja secara *real-time*?
2. Bagaimana kinerja sistem penyortiran botol menggunakan YOLOv8 dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan botol berdasarkan kondisi fisik botol?

1.4. Tujuan dan Manfaat

1.4.1. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem penyortiran botol otomatis menggunakan YOLOv8 yang mampu mendeteksi kondisi fisik secara *real-time*.
2. Menganalisis kinerja sistem penyortiran botol otomatis berbasis YOLOv8 dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan kondisi fisik botol.

1.4.2. Manfaat

Pada penelitian ini terdapat dua manfaat yang ingin di capai yaitu:

1. Manfaat Akademik

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem inspeksi kualitas otomatis berbasis *computer vision*, khususnya penerapan algoritma YOLOv8 untuk mendeteksi deformasi fisik pada botol plastik yang terintegrasi dengan sistem kendali dan aktuator.

2. Manfaat Aplikatif

Penelitian ini diharapkan dapat membantu proses inspeksi botol plastik minuman pada skala UMKM melalui sistem penyortiran otomatis yang mampu mengidentifikasi dan memisahkan botol normal serta botol deformasi secara lebih konsisten, stabil, dan *real-time*, sehingga dapat mengurangi potensi kesalahan pada pemeriksaan manual.

1.5. Batasan Masalah

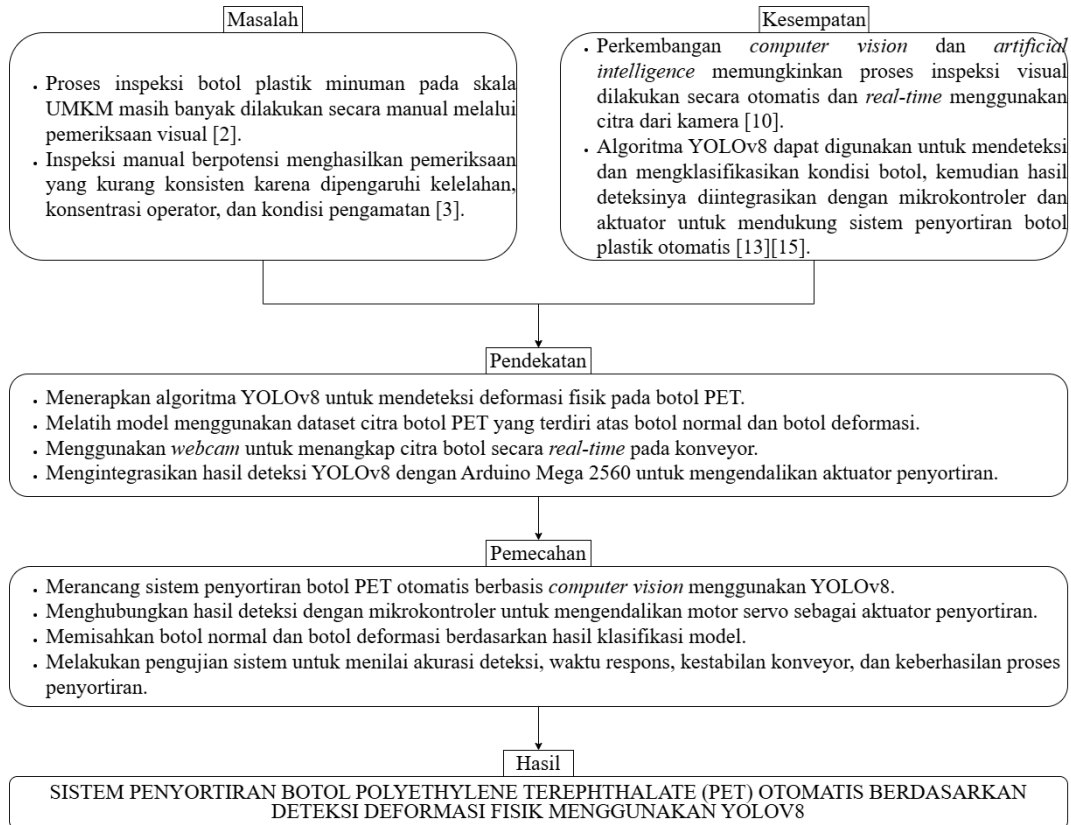
Dalam penelitian ini, untuk menjaga fokus dan kelayakan penelitian, beberapa batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

1. Objek penelitian dibatasi pada botol plastik minuman transparan berbahan PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan bentuk silinder, leher botol lurus, tutup ulir, dan menggunakan jenis botol almond 250 ml *clear PET*.
2. Botol yang digunakan dalam pengujian merupakan botol kosong dan menggunakan tutup botol.
3. Sistem yang dikembangkan difokuskan untuk mendeteksi kecacatan fisik berupa deformasi botol plastik, yaitu penyok dan meleleh.
4. Sistem tidak mencakup deteksi cacat fisik lain, seperti perubahan warna botol, perbedaan ukuran botol, kerusakan pada tutup botol, kebocoran, kebersihan bagian dalam botol, kualitas isi minuman, maupun jenis deformasi lain di luar penyok dan meleleh.
5. Proses deteksi hanya dilakukan berdasarkan citra visual dari *webcam*, tanpa menggunakan sensor tambahan seperti sensor berat, sensor tekanan, atau sensor jarak.
6. Monitoring ditampilkan melalui serial monitor pada Visual Studio Code dan tampilan hasil deteksi dari *webcam*.
7. Sistem penyortiran diuji menggunakan prototipe konveyor mini yang dilengkapi dengan dua jalur keluaran, yaitu jalur botol normal dan jalur botol deformasi.
8. Implementasi sistem difokuskan pada pengujian di lingkungan laboratorium, sehingga tidak mencakup penerapan langsung pada lini produksi industri skala besar.
9. Pengambilan citra dilakukan menggunakan satu *webcam* dengan posisi botol berdiri di atas konveyor.

1.6. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir yaitu berisi alur pemikiran yang memuat uraian sistematis hasil perumusan masalah penelitian yang diperkirakan dapat diselesaikan melalui

pendekatan yang dibutuhkan. Untuk mengatasi masalah tersebut, kerangka berpikir ini dapat dijabarkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Kerangka berpikir

1.7. Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas gambaran umum penelitian, dasar permasalahan, ruang lingkup penelitian, serta arah penelitian yang dilakukan.

BAB II TEORI DASAR

Bab ini menjelaskan teori-teori yang digunakan sebagai landasan dalam mendukung penelitian dan pengembangan sistem.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas metode dan tahapan penelitian yang digunakan dalam proses perancangan, implementasi, pengujian, dan analisis sistem.

BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Bab ini menjelaskan proses perancangan dan implementasi sistem baik dari sisi perangkat keras, perangkat lunak dan sistem secara keseluruhan.

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS Bab ini membahas hasil pengujian sistem serta analisis terhadap kinerja sistem dalam mendeteksi dan menyortir botol berdasarkan kondisi fisiknya.

BAB VI PENUTUP

Bab ini menjelaskan tentang bagian penutup dari penelitian, berisi mengenai kesimpulan dari penelitian, serta saran untuk penelitian selanjutnya.

