SISTEM INSPEKSI LABEL BOTOL BERBASIS MACHINE VISION PADA MESIN E-FILL

Muhammad Miftakhur Rahmat[1)], Ii Munadhif[1)], Ryan Yudha Adhitya[1)] Muhammad Thohirin Fadli [1)]

[1]Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

E-mail: iimunadhif.its@gmail.com

Abstract

The labeling process is a critical stage in product packaging systems because improper label positioning and excessive label tilt can reduce product quality and affect visual appearance. This study aims to develop a machine vision-based bottle label inspection system on the E-FILL machine to automatically evaluate label position and tilt. The proposed system utilizes a webcam as an image acquisition device and the YOLO algorithm to detect bottles within the inspection area. Label regions are extracted and processed using image processing techniques, while the Hough Line Transform method is employed to determine the label tilt angle. Inspection results are classified into acceptable (OK) and defective (NG) categories based on predefined tolerance limits Furthermore, inspection data are transmitted from the Python-based machine vision application to a Node.js server through a local network connection. The Node.js server functions as middleware to process and distribute inspection data to the web monitoring system and HMI in real-time. Experimental testing was conducted on 10 samples with various label tilt conditions. The results show that the proposed system successfully performed real-time bottle detection, label inspection, and automatic classification. The label tilt measurement achieved an average error of 1.37°, with minimum and maximum errors of 0.3° and 3.7°, respectively. In addition, the system successfully classified 4 samples as OK and 6 samples as NG. These results demonstrate that the developed system can support automated, consistent, and real-time label quality inspection in bottle packaging applications.

Keywords: *Machine Vision, YOLO, Hough Line Transform, Bottle Label Inspection, Node.js.*

PENDAHULUAN

Proses pelabelan (*labelling*) merupakan salah satu tahapan penting dalam sistem pengemasan produk karena berfungsi sebagai media identifikasi sekaligus penyampaian informasi kepada konsumen. Kualitas pemasangan label perlu diperhatikan karena posisi label yang tidak sesuai maupun kemiringan label yang berlebihan dapat menurunkan kualitas visual produk dan memengaruhi persepsi konsumen terhadap mutu produk. Dalam industri manufaktur modern, proses inspeksi kualitas dituntut dilakukan secara cepat, akurat, dan konsisten guna meningkatkan efisiensi produksi serta meminimalkan kesalahan yang disebabkan oleh faktor manusia. Oleh karena itu, penerapan sistem inspeksi otomatis berbasis machine vision semakin banyak digunakan dalam berbagai aplikasi quality control di lingkungan industri (Ding et al., 2023). Perkembangan

teknologi machine vision memungkinkan proses pengamatan, pengukuran, identifikasi, dan analisis objek dilakukan secara otomatis menggunakan kamera dan algoritma pengolahan citra. Teknologi ini telah banyak diterapkan pada sistem inspeksi kualitas karena mampu menghasilkan tingkat akurasi dan konsistensi yang lebih baik dibandingkan pemeriksaan visual secara manual. Selain itu, kemajuan metode deep learning telah mendorong penggunaan algoritma deteksi objek secara real-time pada berbagai aplikasi industri. Salah satu algoritma yang banyak digunakan adalah YOLO (You Only Look Once) karena memiliki kemampuan deteksi objek dengan kecepatan tinggi dan akurasi yang baik sehingga sesuai untuk sistem inspeksi otomatis pada lini produksi (Jiao et al., 2023).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kombinasi machine vision dan deep learning mampu meningkatkan efektivitas proses quality control pada lingkungan manufaktur. (Gao et al., 2023) menjelaskan bahwa sistem inspeksi visual berbasis kecerdasan buatan dapat mendeteksi cacat produk secara otomatis dengan tingkat akurasi yang tinggi. Sementara itu, (Zhang et al., 2024) menyatakan bahwa sistem inspeksi visual cerdas menjadi salah satu teknologi utama dalam implementasi Industry 4.0 karena mendukung pengambilan keputusan secara real-time pada proses produksi.



Gambar 1 Mesin E-Fill

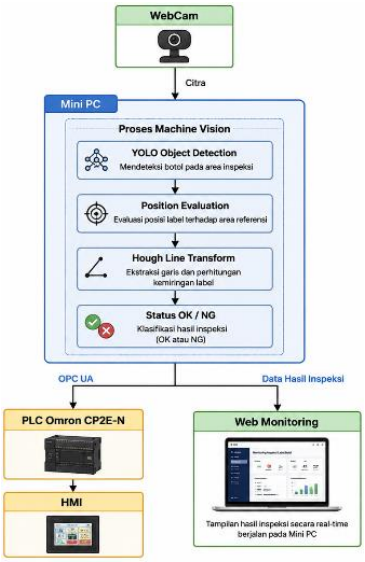
Penelitian sebelumnya mengenai mesin E-FILL telah berhasil mengembangkan sistem pengisian cairan otomatis berbasis PLC yang terintegrasi dengan sensor proximity, aktuator pneumatik, dan conveyor untuk melakukan proses filling botol secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu merealisasikan proses pengisian cairan dengan tingkat akurasi dan presisi yang baik sehingga layak diterapkan pada proses manufaktur botol (Munadhif et al., 2024). Namun, penelitian tersebut masih berfokus pada proses pengisian cairan dan belum dilengkapi dengan sistem pelabelan maupun

inspeksi visual untuk mengevaluasi kualitas pemasangan label. Akibatnya, pemeriksaan posisi dan kemiringan label masih harus dilakukan secara manual sehingga berpotensi menimbulkan ketidakkonsistenan hasil inspeksi serta meningkatkan waktu pemeriksaan produk.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, machine vision dapat dimanfaatkan sebagai solusi inspeksi otomatis melalui penggunaan kamera dan algoritma pengolahan citra. Pada penelitian ini, algoritma YOLO digunakan untuk mendeteksi keberadaan botol pada area inspeksi, sedangkan metode Hough Line Transform digunakan untuk mengevaluasi kemiringan label berdasarkan garis yang terdeteksi pada citra. Metode Hough Transform telah banyak digunakan dalam aplikasi inspeksi industri karena mampu mendeteksi fitur garis secara robust meskipun terdapat gangguan pencahayaan maupun variasi posisi objek (Wang et al., 2023). Selain itu, sistem yang dikembangkan diintegrasikan dengan server Node.js sebagai middleware komunikasi data sehingga hasil inspeksi dapat ditampilkan secara real-time pada web monitoring dan Human Machine Interface (HMI). Integrasi ini memungkinkan proses pemantauan kualitas pelabelan dilakukan secara otomatis dan terpusat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mengembangkan sistem inspeksi label botol berbasis machine vision pada mesin E-FILL. Sistem yang dikembangkan terdiri dari kamera webcam sebagai perangkat akuisisi citra, mini PC sebagai pusat pemrosesan data, PLC Omron CP2E sebagai pengendali sistem, serta Human Machine Interface (HMI) dan web monitoring sebagai media pemantauan hasil inspeksi. Arsitektur sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 2 Diagram Blok Sistem

Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan dataset citra botol yang terdiri atas beberapa kondisi pelabelan, yaitu label sesuai, label bergeser, dan label miring. Dataset yang diperoleh kemudian dianotasi menggunakan aplikasi Roboflow untuk menghasilkan data pelatihan model deteksi objek. Selanjutnya dilakukan proses pelatihan model menggunakan algoritma YOLO hingga diperoleh model yang mampu mendeteksi keberadaan botol pada area inspeksi secara real-time.

Pada tahap inspeksi, kamera mengambil citra botol yang berada pada area pengamatan. Model YOLO digunakan untuk mendeteksi objek botol dan menentukan area inspeksi yang akan diproses lebih lanjut. Area label kemudian diekstraksi untuk memperoleh informasi posisi dan kemiringan label. Evaluasi posisi label dilakukan berdasarkan koordinat objek terhadap area referensi yang telah ditentukan, sedangkan evaluasi kemiringan label dilakukan menggunakan metode Hough Line Transform. Metode ini digunakan untuk mengekstraksi garis dominan pada label sehingga diperoleh nilai sudut kemiringan yang selanjutnya dibandingkan dengan batas toleransi yang telah ditetapkan.

Berdasarkan hasil evaluasi posisi dan kemiringan, sistem mengklasifikasikan kondisi label ke dalam dua kategori, yaitu sesuai (OK) dan tidak sesuai (NG). Kategori OK diberikan apabila posisi label berada pada area toleransi dan nilai sudut kemiringan tidak melebihi batas yang ditentukan. Sebaliknya, kategori NG diberikan apabila posisi label berada di luar area toleransi atau sudut kemiringan melebihi nilai batas yang telah ditetapkan.

Batas toleransi klasifikasi yang ditetapkan pada penelitian ini adalah nilai deviasi kemiringan sudut maksimum sebesar ≤ 5,0° serta posisi bounding box label berada di dalam area referensi ROI. Jika nilai sudut kemiringan terukur ≤ 5,0° dan posisi sesuai, maka sistem memberikan status OK. Apabila sudut kemiringan terukur > 5,0° atau posisi bergeser dari area referensi, maka sistem mengklasifikasikannya sebagai NG.

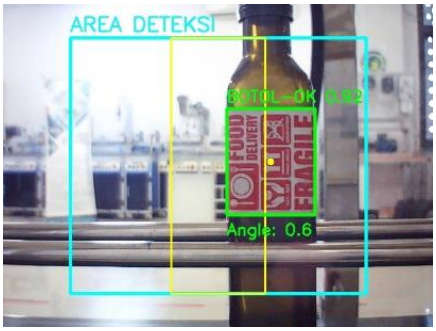
Hasil inspeksi yang meliputi status OK/NG, nilai posisi label, dan nilai sudut kemiringan diproses oleh aplikasi Python dan selanjutnya dikirimkan ke server Node.js melalui komunikasi jaringan lokal. Server Node.js berfungsi sebagai middleware yang menerima data inspeksi, menyimpan data hasil pengujian, serta mendistribusikannya ke antarmuka web monitoring secara real-time. Selain itu, data hasil inspeksi juga ditampilkan pada Human Machine Interface (HMI) untuk memudahkan proses pemantauan kondisi label botol selama proses produksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Deteksi Botol Menggunakan YOLO

Gambar 3 menunjukkan hasil deteksi objek botol menggunakan model YOLO pada area inspeksi. Model berhasil mendeteksi botol dengan memberikan bounding box pada objek yang berada di area pengamatan. Hasil deteksi ini digunakan sebagai dasar untuk menentukan area inspeksi label pada tahap selanjutnya.

Pengujian performa model YOLO dilakukan pada dataset uji yang terdiri dari citra botol dengan berbagai kondisi pencahayaan dan posisi. Berdasarkan hasil evaluasi, model YOLO yang dilatih berhasil mencapai performa deteksi dengan nilai Precision sebesar 96,8%, Recall sebesar 95,2%, dan Mean Average Precision (mAP@50) sebesar 97,4%. Metrik ini menunjukkan bahwa model sangat andal dalam mendeteksi keberadaan botol dan mengisolasi area label sebelum dilanjutkan ke proses pengolahan citra Hough Line Transform.



Gambar 3 Hasil deteksi botol menggunakan YOLO

3.2 Hasil Ekstraksi ROI Label

Berdasarkan hasil deteksi objek, area label diekstraksi menggunakan metode Region of Interest (ROI). Proses ini bertujuan untuk memfokuskan pengolahan citra pada area label sehingga dapat mengurangi gangguan dari latar belakang dan bagian botol lainnya.

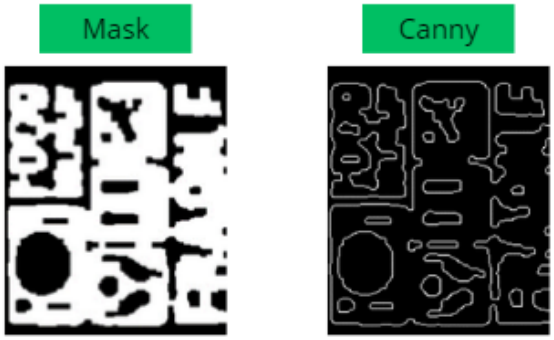


Gambar 4 Hasil ekstraksi area label (ROI)

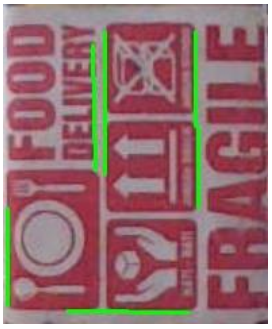
3.3 Hasil Pengukuran Kemiringan Label

Proses segmentasi dilakukan untuk memisahkan area label dari latar belakang, kemudian metode Canny digunakan untuk mengekstraksi tepi objek. Hasil deteksi tepi digunakan sebagai masukan pada proses Hough Line Transform.

Hough Line Transform berhasil mendeteksi garis dominan pada label yang digunakan untuk menentukan sudut kemiringan label. Garis hasil deteksi ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Hasil segmentasi dan deteksi tepi.



Gambar 6 Hasil Hough Line.

Berdasarkan Tabel 1, diperoleh rata-rata error sebesar 1,37°. Nilai tersebut menunjukkan bahwa metode Hough Line Transform mampu memberikan estimasi sudut yang cukup mendekati sudut aktual dengan tingkat kesalahan yang relatif rendah. Error terbesar sebesar 3,7° terjadi pada sudut aktual 5° dan 45°, sedangkan error terkecil sebesar 0,3° diperoleh pada sudut aktual 10°. Hasil ini menunjukkan bahwa metode yang digunakan cukup stabil untuk kebutuhan inspeksi label pada mesin E-FILL.

Tabel 1
Hasil Pengukuran Kemiringan Label

Sampel	Sudut Aktual (°)	Sudut Terukur (°)	Error
1	0	0.6	0.6
2	0	0.8	0.8
3	5	7.9	2.9
4	5	4.3	0.7
5	10	10.3	0.3
6	10	10.8	0.8
7	20	20.9	0.9
8	20	21	1
9	45	41.3	3.7
10	45	43	2

3.4 Hasil Klasifikasi OK dan NG

Sistem mengklasifikasikan kondisi label berdasarkan hasil evaluasi posisi dan kemiringan label. Label dikategorikan sebagai OK apabila posisi dan sudut berada pada rentang toleransi yang ditentukan.

Tabel 2
Hasil Klasifikasi Label

Sampel	Posisi Label	Sudut Label	Status
1	OK	OK	OK
2	OK	OK	OK
3	OK	OK	OK
4	OK	OK	OK
5	NG	NG	NG
6	NG	NG	NG
7	NG	NG	NG
8	NG	NG	NG
9	NG	NG	NG
10	NG	NG	NG

3.5 Integrasi Sistem dengan PLC

Hasil inspeksi yang diperoleh dari sistem machine vision dikirimkan dari aplikasi Python menuju server Node.js secara real-time. Node.js berperan sebagai middleware yang menerima data hasil inspeksi, mengelola komunikasi antar perangkat, serta menyediakan layanan web monitoring. Pengujian menunjukkan bahwa proses pengiriman data berjalan dengan baik tanpa kehilangan data sehingga informasi hasil inspeksi dapat ditampilkan secara langsung pada web monitoring dan HMI.



Gambar 7 Tampilan Web Monitoring dan HMI.

Data hasil inspeksi ditampilkan pada HMI dan web monitoring untuk memudahkan proses pemantauan kondisi label botol secara real-time.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem inspeksi label botol berbasis machine vision pada mesin E-FILL untuk melakukan evaluasi posisi dan kemiringan

label secara otomatis. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan algoritma YOLO untuk mendeteksi objek botol pada area inspeksi dan metode Hough Line Transform untuk mengukur sudut kemiringan label berdasarkan garis dominan yang terdeteksi pada citra. Hasil pengujian pada 10 sampel menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan deteksi botol, ekstraksi area label, pengukuran kemiringan, serta klasifikasi kondisi label secara real-time. Pengukuran kemiringan label menghasilkan rata-rata error sebesar 1,37°, dengan error terkecil 0,3° dan error terbesar 3,7°. Selain itu, sistem berhasil mengklasifikasikan 4 sampel ke dalam kategori OK dan 6 sampel ke dalam kategori NG berdasarkan parameter posisi dan kemiringan label yang telah ditentukan. Integrasi antara aplikasi Python dan server Node.js berhasil digunakan untuk mengirimkan hasil inspeksi secara real-time ke sistem web monitoring dan HMI. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan mampu mendukung proses inspeksi kualitas pelabelan secara otomatis, konsisten, dan terintegrasi pada mesin E-FILL serta berpotensi mendukung implementasi otomasi industri pada proses pengemasan botol.

DAFTAR PUSTAKA

Ding, K., Shi, H., Hui, J., Liu, Y., Zhu, B., Zhang, F., & Cao, W. (2023). Vision-based intelligent inspection technologies for industrial quality control: A review. Computers in Industry, 145, 103806. https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103806

Gao, X., Li, Z., Chen, H., & Xu, J. (2023). Deep learning-based visual inspection methods for industrial manufacturing: Recent advances and challenges. Measurement, 216, 112932. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.112932

He, W., Sun, Y., & Zhao, L. (2024). Real-time machine vision inspection using YOLO algorithms in industrial environments. Applied Sciences, 14(3), 1124. https://doi.org/10.3390/app14031124

Jiao, L., Zhang, Y., Liu, F., Yang, S., Li, L., Feng, Z., & Qu, R. (2023). A survey of deep learning-based object detection. IEEE Access, 11, 17976–18005. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3245630

Li, Y., Wang, X., Zhang, T., & Zhao, Y. (2023). Label alignment inspection using machine vision and edge detection techniques. Measurement Science Review, 23(4), 177–185. https://doi.org/10.2478/msr-2023-0024

Liu, J., Yang, H., & Chen, X. (2024). Industrial visual inspection based on machine vision and artificial intelligence: Current trends and future perspectives. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 87, 102731. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2023.102731

Pamungkas, A., Arfianto, A. Z., & Rahmat, M. M. (2025). Implementasi machine vision untuk inspeksi kualitas produk pada sistem otomasi industri. Jurnal Teknik Industri Terapan, 11(1), 45–53.

Wang, Z., Liu, Y., Chen, J., & Xu, H. (2023). Hough transform-based line detection methods for industrial image processing applications. Pattern Recognition Letters, 170, 45–53. https://doi.org/10.1016/j.patrec.2023.05.011

Yasiri, M., Kurniawan, A., & Putra, R. D. (2025). Penerapan algoritma YOLO untuk deteksi objek real-time pada sistem quality control industri. Jurnal Informatika Industri, 9(2), 87–96.

Munadhif, I., Adhitya, R. Y., Jami'in, M. A., Nugraha, A. T., Riananda, D. P., Putra, Z. M. A., Adiatmoko, M. F., Hasin, M. D. W., Anto, D. R., Alfitra, M. D., & Almunawar, D. (2024). Pengujian performa mesin E-FILL dalam proses pengisian air pada botol. Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication (Complete), 5(1). https://doi.org/10.52435/complete.v5i1.398