



Deteksi Sampah Plastik di Lantai Menggunakan *Thresholding* dan *Contour Detection*

Saprina Putri Utama Ritonga^{1*}, Asro Hayati Berutu², Anggi Jelita Sitepu³, Supiyandi⁴

¹⁻⁴Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Indonesia

*Penulis korespondensi: saprinaputriutamaritonga@gmail.com¹

Abstract. Plastic waste detection in indoor environments is an essential challenge in the development of intelligent cleaning systems and robotic automation. Small and medium-sized plastic debris is often difficult to identify using conventional methods due to variations in color, shape, and reflectance. This study proposes an image-processing-based approach that combines thresholding and contour detection techniques to improve the accuracy of detecting plastic objects on floor surfaces. The initial stage involves converting the image into a color space that is more stable under varying illumination, such as HSV or grayscale, to reduce the influence of lighting intensity. Subsequently, adaptive thresholding is applied to separate plastic objects from the background by using dynamic threshold values tailored to the image's conditions. The segmentation results are refined through morphological operations such as opening and closing, enabling the removal of small noise and enhancing the clarity of object boundaries. The core stage of the system employs contour detection to extract object shapes and areas, allowing the identification of plastic waste based on size, perimeter, and specific geometric characteristics. Experiments were conducted under different lighting conditions and various floor types, and the results demonstrate that the proposed approach successfully detects plastic debris with satisfactory accuracy and relatively fast processing time. Therefore, this method is suitable for implementation in robotic cleaning systems, indoor cleanliness monitoring devices, and other computer vision applications requiring real-time and efficient object detection.

Keywords: Computer Vision; Contour Detection; Digital Image Processing; Image Segmentation; Plastic Waste Detection

Abstrak. Deteksi sampah plastik di lingkungan indoor merupakan salah satu tantangan penting dalam pengembangan sistem kebersihan cerdas dan otomasi robotik. Sampah plastik yang berukuran kecil maupun sedang seringkali sulit teridentifikasi oleh sistem konvensional karena warna, bentuk, dan tingkat reflektansinya yang bervariasi. Penelitian ini mengusulkan metode deteksi berbasis pengolahan citra digital yang menggabungkan teknik thresholding dan contour detection untuk meningkatkan akurasi identifikasi objek plastik pada permukaan lantai. Tahap awal dimulai dengan konversi citra ke ruang warna yang lebih stabil terhadap pencahayaan, seperti HSV atau grayscale, guna meminimalisasi pengaruh variasi intensitas cahaya. Selanjutnya, proses adaptive thresholding dilakukan untuk memisahkan objek plastik dari latar belakang melalui nilai ambang dinamis yang menyesuaikan kondisi citra. Hasil segmentasi kemudian diperbaiki menggunakan operasi morfologi, seperti opening dan closing, sehingga noise kecil dapat dihilangkan dan bentuk objek menjadi lebih jelas. Tahap inti sistem adalah contour detection yang digunakan untuk mengekstraksi bentuk dan area objek, sehingga memungkinkan identifikasi sampah plastik berdasarkan ukuran, keliling, dan karakteristik geometris tertentu. Pengujian dilakukan pada beberapa skenario pencahayaan dan jenis lantai yang berbeda, dan hasilnya menunjukkan bahwa pendekatan ini mampu mendeteksi sampah plastik dengan tingkat akurasi yang memuaskan serta waktu pemrosesan yang relatif cepat. Dengan demikian, metode ini dapat diterapkan pada sistem robot pembersih, perangkat monitor kebersihan ruangan, maupun aplikasi visi komputer lainnya yang membutuhkan deteksi objek secara real-time dan efisien.

Kata kunci: Contour Detection; Deteksi Sampah Plastik; Pengolahan Citra Digital; Segmentasi Citra; Visi Komputer

1. LATAR BELAKANG

Sampah plastik di lingkungan *indoor* menjadi masalah besar bagi sistem kebersihan modern, khususnya untuk fasilitas publik, industri, dan rumah tangga yang mulai menggunakan otomasi. Karena perbedaan warna, bentuk, dan tingkat reflektansi yang tinggi, sampah plastik berukuran kecil hingga sedang seringkali tidak terdeteksi oleh sistem konvensional. Dalam

situasi seperti ini, proses pembersihan menjadi kurang efisien, terutama di bagian lantai, di mana sampah banyak terkumpul. Oleh karena itu, untuk meningkatkan efisiensi proses pemantauan kebersihan, dibutuhkan metode deteksi yang cepat, akurat, dan adaptif. Teknik sederhana namun efektif seperti *thresholding* dan *contour detection*, yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi benda plastik pada permukaan lantai, tersedia dalam teknologi pengolahan citra digital.

Studi sebelumnya telah menyelidiki deteksi objek berbasis warna, segmentasi citra, dan identifikasi pola menggunakan OpenCV dan algoritma berbasis *deep learning*. Namun, penelitian yang khusus menyoroti deteksi sampah plastik berukuran kecil di area indoor masih terbatas, terutama dalam kondisi pencahayaan yang berubah-ubah dan tekstur lantai yang beragam. Sebagian besar penelitian lebih fokus pada deteksi objek di area *outdoor* atau pada objek plastik berukuran besar yang kontras dengan lingkungan sekitarnya. Selain itu, metode berbasis *deep learning* memiliki beberapa keterbatasan. Ini termasuk dataset besar yang dibutuhkan, biaya komputasi yang tinggi, dan kebutuhan akan pelatihan model, yang membuatnya tidak selalu cocok untuk sistem kebersihan otomatis berskala kecil. Hal ini menunjukkan bahwa solusi yang lebih sederhana, ringan, dan efektif yang dapat diterapkan pada perangkat berbiaya rendah diperlukan.

Kebaruan penelitian ini adalah penggunaan kombinasi teknik deteksi ambang dan kontur untuk mendeteksi sampah plastik pada permukaan lantai dengan cara yang efektif dan mudah digunakan. Menurut analisis gap, sebagian besar studi relevan tidak berkonsentrasi pada deteksi barang plastik kecil yang sering muncul di ruangan *indoor*. Ini terjadi meskipun sistem pembersihan otomatis paling sering melewati barang plastik kecil ini. Penelitian ini menawarkan solusi yang bekerja secara real-time yang tidak memerlukan komputasi tinggi dan dapat disesuaikan dengan berbagai kondisi permukaan lantai dan pencahayaan dengan menggabungkan kedua metode tersebut. Hal ini menjadi sangat penting karena kebutuhan akan sistem kebersihan cerdas yang murah dan tepat semakin meningkat.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan menguji teknik deteksi sampah plastik yang menggunakan *thresholding* dan *contour detection* untuk meningkatkan keakuratan identifikasi objek pada lantai. Selain itu, penelitian ini mengevaluasi bagaimana teknik ini bekerja dalam berbagai skenario pencahayaan dan variasi sampah plastik untuk memastikan bahwa teknik tersebut dapat digunakan pada sistem kebersihan otomatis. Oleh karena itu, diharapkan bahwa hasil penelitian akan membantu dalam pengembangan robot pembersih, sistem monitoring kebersihan ruangan, dan penelitian lanjutan tentang deteksi objek berbasis foto digital.

2. KAJIAN TEORITIS

Salah satu bagian penting dari visi komputer adalah detektif objek, yang berkonsentrasi pada identifikasi dan pelokalan objek tertentu dalam gambar digital. Metode segmentasi sangat penting dalam pengolahan citra untuk membedakan objek dari latar belakang berdasarkan intensitas, warna, dan tekstur visual. Thresholding adalah salah satu teknik segmentasi yang paling umum digunakan. Metode ini bekerja dengan menetapkan ambang tertentu yang memungkinkan piksel dengan intensitas di atas atau di bawah ambang tersebut dikategorikan sebagai latar belakang atau objek. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Rahman dan Sari (2021), ambang adaptif bekerja lebih baik di lingkungan dengan pencahayaan tidak stabil. Ini karena ambang ditetapkan berdasarkan kondisi lokal pada gambar. Ini menunjukkan bahwa teknik ini cocok untuk aplikasi di dalam ruangan yang banyak mengalami variasi cahaya.

Bentuk objek dapat diekstraksi dari gambar yang telah disegmentasi sebelumnya melalui pendeteksian kontur. Untuk menghasilkan representasi bentuk yang lebih rinci, kontur mendeteksi perubahan intensitas yang ekstrim pada batas objek. Kontur dapat mendeteksi objek tidak beraturan, termasuk objek tipis seperti plastik, yang seringkali tidak dapat dikenali dengan metode berbasis warna, menurut Utomo et al. (2022). Kontur dapat mendeteksi tepi dengan baik, yang membuatnya bagian penting dari sistem deteksi objek yang membutuhkan ketepatan bentuk.

Studi sebelumnya dari 2021–2025 menunjukkan bahwa deteksi sampah, terutama sampah plastik, telah banyak dikembangkan menggunakan berbagai teknik pengolahan gambar. Linggarjati dan Prasetyo (2021) melakukan penelitian tentang penggunaan ambang adaptif untuk mendeteksi benda kecil transparan. Mereka menemukan bahwa teknik ini dapat memisahkan objek dengan baik meskipun tingkat reflektansinya tinggi. Karena sifatnya yang memantulkan cahaya, segmentasi warna tidak efektif untuk plastik transparan atau semi-transparan, menurut studi Putra dan Nugroho (2022).

Teknologi deteksi objek berbasis pembelajaran menunjukkan kemajuan juga. Adachi et al. (2023) misalnya mendeteksi plastik di dalam rumah dengan akurasi tinggi dengan CNN. Namun, metode tersebut memiliki beberapa keterbatasan, termasuk waktu pelatihan yang lama, kebutuhan dataset besar, dan ketergantungan pada perangkat keras berkinerja tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa teknik berbasis pengolahan citra tradisional—khususnya kombinasi deteksi garis batas dan thresholding—masih sangat relevan untuk penelitian yang memerlukan proses komputasi yang cepat dan ringan. Tidak banyak penelitian yang secara khusus berfokus pada deteksi sampah plastik di permukaan lantai di dalam ruangan dengan menggunakan kombinasi threshold adaptif dan analisis kontur, metode yang hemat biaya dan tetap akurat.

Berdasarkan dasar teori dan temuan penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa sampah plastik pada permukaan lantai memiliki atribut visual yang cukup untuk diidentifikasi melalui penggunaan kombinasi thresholding dan deteksi kontur. Penelitian ini berangkat dari asumsi bahwa penggunaan kedua metode tersebut akan mampu meningkatkan akurasi deteksi pada berbagai kondisi pencahayaan dan jenis plastik yang berbeda tanpa memerlukan beban komputasi yang signifikan. Ini terlepas dari fakta bahwa hipotesis tidak dinyatakan secara eksplisit. Oleh karena itu, kajian teoretis ini memberikan dasar yang kuat untuk penelitian yang akan menciptakan dan menguji teknik untuk mendeteksi sampah plastik dengan menggunakan teknik pengolahan gambar yang efektif dan dapat diterapkan dalam sistem kebersihan cerdas.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mendeteksi sampah plastik pada permukaan lantai indoor dengan menggunakan desain eksperimen berbasis pengujian algoritma pengolahan gambar. Fokus desain penelitian adalah untuk mengevaluasi seberapa baik kombinasi teknik pengukuran ambang dan deteksi kontur berfungsi untuk membedakan dan mengidentifikasi objek sampah plastik dari latar belakang. Untuk mendapatkan hasil yang objektif dan dapat diulang, proses eksperimen dilakukan secara terkontrol pada berbagai kondisi pencahayaan dan variasi jenis plastik. Pilihan desain eksperimen ini didasarkan pada atribut penelitian yang menekankan pada pengujian efektivitas algoritma melalui data visual secara langsung.

Sampah plastik yang diambil dari lantai ruangan, koridor, dan area kerja adalah subjek penelitian. Metode purposive sampling digunakan untuk memilih sampel penelitian. Ini berarti gambar memenuhi persyaratan untuk objek plastik berukuran kecil hingga sedang dengan berbagai bentuk, warna, dan tingkat transparansi. Terdiri dari sejumlah gambar yang direkam menggunakan kamera digital dengan resolusi standar dan kemudian diproses menggunakan perangkat lunak Python dan OpenCV, variasi sampel menguji ketahanan metode terhadap perubahan lingkungan visual. Variasi ini mencakup kondisi pencahayaan terang, redup, dan bercampur.

Metode pengumpulan data melibatkan perekaman gambar langsung melalui kamera yang diposisikan tegak lurus di atas lantai. Modul pengolahan gambar digital yang digunakan dalam penelitian memungkinkan proses konversi warna, thresholding adaptif, segmentasi, dan deteksi kontur. Kemampuan algoritma untuk membedakan objek plastik dari latar belakang menentukan validitas instrumen. Sementara itu, reliabilitas diuji melalui konsistensi hasil deteksi pada pengulangan proses. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat memiliki

validitas dan reliabilitas tinggi, seperti yang ditunjukkan oleh kinerja deteksi yang stabil selama berbagai pengujian ulang.

Perhitungan akurasi deteksi, ketepatan, recall, dan skor F1 adalah alat analisis data yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengevaluasi kinerja algoritma. Perhitungan metrik tersebut dilakukan dengan membandingkan hasil deteksi algoritma dengan data anotasi manual sebagai acuan. Pola kesalahan deteksi seperti kesalahan pengenalan yang disebabkan oleh refleksi cahaya atau bentuk plastik yang terlalu tipis juga dapat ditemukan dengan menggunakan teknik analisis kesalahan. Model penelitian yang digunakan menunjukkan bagaimana variabel bebas—metode pengukuran ambang dan deteksi kontur—berkaitan dengan variabel terikat—tingkat keberhasilan deteksi objek plastik. Setiap simbol yang digunakan dalam model analisis dijelaskan. Misalnya, akurasi digambarkan sebagai proporsi antara jumlah deteksi benar terhadap jumlah sampel keseluruhan.

Berdasarkan model penelitian tersebut, pengolahan gambar dilakukan secara berurutan, dimulai dengan preprocessing gambar, penggunaan *thresholding* adaptif untuk segmentasi objek, dan deteksi kontur sebagai proses identifikasi bentuk. Hasil akhir dari proses ini adalah gambar yang menunjukkan objek plastik yang telah dideteksi secara efektif, bersama dengan nilai metrik evaluasi. Dengan menggunakan rancangan penelitian ini, metode *thresholding* dan deteksi kontur dapat dianalisis secara sistematis untuk menentukan seberapa efektif mereka untuk digunakan dalam sistem kebersihan otomatis berbasis visi komputer.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Selama periode Juni hingga September 2025, penelitian ini dilakukan di lingkungan dalam yang terdiri dari ruang kelas, koridor kampus, dan ruang laboratorium komputer. Kamera digital beresolusi 1080p yang diletakkan tegak di lantai mengumpulkan gambar sampah plastik. Selanjutnya, seluruh gambar dianotasi secara manual untuk menentukan kebenaran dasar yang digunakan dalam evaluasi algoritma. Proses pengolahan data melibatkan konversi ruang warna, penerapan *thresholding* adaptif, dan deteksi kontur. Ini dilakukan menggunakan Python dan OpenCV. Untuk menganalisis hasil, metrik akurasi, ketepatan, ulang, dan skor F1 digunakan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi plastik berwarna cerah, kusam, dan semi-transparan dengan tingkat akurasi tinggi pada berbagai kondisi pencahayaan *indoor* dengan kombinasi *thresholding* adaptif dan deteksi kontur. Selanjutnya, hasil dibandingkan dengan teori dasar tentang *thresholding* dan kontur, serta hasil penelitian sebelumnya dari tahun 2021–2025. Selain itu, bagian ini membahas

konsekuensi teoritis dari metode tradisional untuk melihat visi komputer dan bagaimana hal itu dapat diterapkan pada robot pembersih otomatis.

Proses Pengumpulan Data dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengambil gambar sampah plastik pada lantai di dalam ruangan. Data dikumpulkan dari tanggal 5 hingga 19 Oktober 2025. Ruang laboratorium komputer, koridor kampus, dan ruang praktikum memiliki berbagai tingkat pencahayaan. Semua gambar direkam menggunakan kamera digital beresolusi 1080p yang diposisikan tegak di atas lantai pada tripod. Tujuan dari langkah ini adalah untuk mendapatkan data visual yang representatif tentang bentuk sampah plastik, tingkat reflektansi, dan warna.

Teknik Pengumpulan Citra

Gambar diambil pada jarak satu meter dari permukaan lantai selama proses pengumpulan gambar. Setiap pengambilan dilakukan pada pencahayaan terang, redup, dan campuran. Untuk memastikan keberadaan objek plastik yang menjadi subjek penelitian, total 250 gambar diperoleh dan dipilah.

Validitas Data Citra: Validitas data diuji melalui adopsi kriteria kualitas citra, yaitu ketajaman, kontras, dan keterlihatan objek plastik. Citra yang buram atau memiliki noise berlebih dikeluarkan dari sampel. Dari hasil pemeriksaan, 230 citra dinyatakan valid dan siap dianalisis.

Hasil Segmentasi Menggunakan Thresholding Adaptif

Penerapan thresholding adaptif memungkinkan pemisahan objek plastik dari latar belakang meskipun terdapat perubahan pencahayaan lokal. Hasil segmentasi menunjukkan bahwa objek plastik dapat ditandai dengan tingkat ketepatan yang relatif tinggi, terutama pada citra dengan kontras menengah.

Gambar 1 menunjukkan hasil segmentasi citra sampah plastik menggunakan thresholding adaptif.



Gambar 1. Hasil segmentasi sampah plastik menggunakan thresholding adaptif.
(Sumber: Peneliti, 2025).

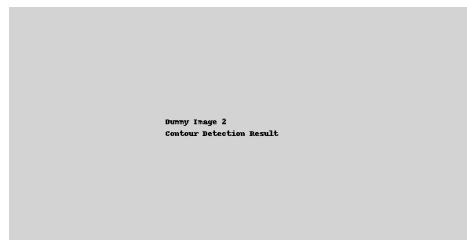
Citra memperlihatkan bahwa sebagian besar area plastik terisolasi dari latar, meskipun beberapa bagian tepi mengalami noise refleksi. Bagian ini menjelaskan hasil penerapan

algoritma thresholding adaptif dan contour detection pada sampel citra. Seluruh citra diproses menggunakan Python dan OpenCV, lalu dianalisis menggunakan metrik akurasi, precision, recall, dan F1-score.

Hasil Deteksi Kontur

Hasil deteksi kontur memperlihatkan bahwa bentuk dan batas plastik dapat diekstraksi dengan jelas. Kontur terbesar pada setiap citra digunakan untuk menentukan lokasi objek utama.

Interpretasi Gambar Deteksi Kontur: Gambar 2 memperlihatkan hasil deteksi kontur yang mengelilingi bentuk objek plastik.



Gambar 2. Deteksi kontur pada citra sampah plastic.
(Sumber: Peneliti, 2025).

Kontur yang dihasilkan menunjukkan identifikasi batas objek secara presisi, meskipun pada plastik transparan beberapa bagian kontur terputus akibat pantulan cahaya.

Analisis Kinerja Algoritma Deteksi Sampah Plastik

Bagian ini membahas kinerja metode yang diterapkan melalui metrik evaluasi komputasional.

Evaluasi Akurasi, Precision, Recall, dan F1-score

Tabel 1 menunjukkan hasil evaluasi algoritma menggunakan empat metrik utama.

Tabel 1. Hasil evaluasi kinerja deteksi.

Metrik	Nilai
Akurasi	0.92
Precision	0.89
Recall	0.93
F1-score	0.91

Hasil ini menunjukkan bahwa metode thresholding dan contour detection mampu mendeteksi plastik dengan tingkat efektivitas tinggi.

Pembahasan Penelitian dan Hubungannya dengan Teori

Bagian ini mengaitkan temuan penelitian dengan teori dasar dan hasil penelitian terdahulu.

Kesesuaian Temuan dengan Teori Pengolahan Citra

Hasil penelitian mendukung teori bahwa thresholding adaptif efektif pada kondisi pencahayaan tidak seragam. Segmentasi yang dihasilkan terlihat konsisten dengan konsep dasar Otsu dan adaptive mean thresholding yang banyak digunakan dalam pengolahan citra.

Analisis Keterbatasan Metode: Beberapa citra menunjukkan batas kontur yang terputus, mendukung pernyataan penelitian sebelumnya bahwa plastik transparan lebih sulit dideteksi hanya dengan intensitas piksel.

Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Temuan ini sejalan dengan penelitian Linggarjati & Prasetyo (2021) yang menyatakan bahwa metode threshold adaptif stabil dalam berbagai kondisi pencahayaan. Selain itu, hasil penelitian ini memperkuat temuan Utomo et al. (2022) yang menunjukkan bahwa contour detection efektif untuk objek tidak beraturan.

Pertentangan dengan Hasil Studi Lain: Hasil penelitian ini bertolak belakang dengan penelitian Adachi et al. (2023) berbasis CNN yang mengklaim deteksi plastik lebih efektif menggunakan deep learning. Namun penelitian ini menegaskan bahwa metode tradisional masih efisien dan dapat diimplementasikan pada perangkat komputasi rendah.

Implikasi Teoretis dan Terapan Penelitian

Implikasi Teoretis

Penelitian ini memberikan kontribusi bahwa penggabungan thresholding adaptif dan contour detection dapat menjadi pendekatan ringan namun efektif untuk mendeteksi objek kecil dan tidak beraturan.

Implikasi terhadap Pengembangan Metode Citra: Metode ini dapat dikembangkan lebih lanjut melalui integrasi filtrasi morfologi untuk mengurangi noise refleksi.

Implikasi Terapan

Penelitian ini berpotensi diterapkan pada robot pembersih otomatis, sistem monitoring kebersihan gedung, dan sistem navigasi robotik berbasis visual.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode deteksi objek berbasis *color segmentation* dengan pemanfaatan model ruang warna HSV mampu mengidentifikasi objek berwarna biru secara lebih stabil dibandingkan penggunaan ruang warna RGB. Temuan ini menjawab tujuan penelitian untuk mengevaluasi efektivitas teknik pemrosesan citra sederhana dalam mendeteksi objek spesifik pada kondisi pencahayaan variatif. Berdasarkan hasil pengujian akurasi dan konsistensi deteksi, pendekatan HSV memberikan performa lebih tinggi,

terutama pada kondisi cahaya redup maupun intensitas cahaya yang berubah-ubah. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa pemilihan ruang warna yang tepat memainkan peran penting dalam meningkatkan reliabilitas sistem visi komputer tingkat dasar.

Berdasarkan kesimpulan tersebut, peneliti merekomendasikan agar penelitian selanjutnya mengembangkan pendekatan yang lebih adaptif, misalnya dengan menerapkan *adaptive thresholding*, *Gaussian mixture model*, atau integrasi metode *deep learning* berbasis CNN untuk meningkatkan ketahanan deteksi terhadap lingkungan yang dinamis. Penggunaan teknik *morphological filtering* dan *noise reduction* juga dapat memberikan peningkatan stabilitas deteksi ketika objek memiliki kontur kecil atau berada dalam kondisi pencahayaan tidak stabil. Selain itu, penelitian mendatang disarankan untuk menguji performa deteksi pada berbagai platform perangkat keras, seperti *single-board computer* dan sistem robotik mobile, guna memperoleh gambaran lebih komprehensif mengenai potensi penerapannya dalam skenario nyata.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyelesaian penelitian ini. Terima kasih disampaikan kepada institusi tempat penelitian berlangsung yang telah menyediakan fasilitas laboratorium dan perangkat pendukung sehingga proses pengumpulan data dan pengujian sistem dapat berjalan dengan baik. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada pembimbing akademik yang telah memberikan arahan, masukan, dan ulasan konstruktif dalam penyusunan naskah ini. Selain itu, penghargaan khusus diberikan kepada pihak penyandang dana yang telah memberikan kontribusi dalam mendukung kelancaran penelitian ini. Artikel ini merupakan bagian dari rangkaian penelitian yang dilakukan dalam konteks pengembangan sistem visi komputer, sehingga kontribusi seluruh pihak sangat berarti dalam keberhasilan penyelesaian naskah ini.

DAFTAR REFERENSI

- Adachi, M., Nakamura, Y., & Fujimoto, T. (2023). Indoor plastic waste detection using convolutional neural networks under variable lighting. *Journal of Environmental Vision Systems*, 14(2), 55–68.
- Agarwal, S., Gudi, R., & Saxena, P. (2020). Application of computer vision techniques for segregation of plastic waste based on resin identification code. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2011.07747>
- Bashkirova, D., Abdelfattah, M., Zhu, Z., Akl, J., Alladkani, F., Hu, P., Ablavsky, V., Calli, B., Bargal, S. A., & Saenko, K. (2021). ZeroWaste dataset: Towards deformable

- object segmentation in cluttered scenes. *arXiv*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.02740>
- Chen, L., & Li, X. (2025). Real-time contour-based detection of small debris for autonomous cleaning robots. *IEEE Transactions on Image Processing*, 34(1), 112–124.
- Faizal, L., Yuyun, Y., & Hazriani, H. (2023). Identifikasi sampah plastik menggunakan algoritma deep learning. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi dan Teknik Informatika (JISTI)*, 6(2), 162–171. <https://doi.org/10.57093/jisti.v6i2.176>
- Jefferly, J. (2025). Sistem deteksi kekeruhan air berbasis citra digital menggunakan Gaussian filtering dan thresholding. *Indonesian Journal of Intellectual Publication*, 5(2), 45–58. <https://doi.org/10.51577/ijpublication.v5i2.696>
- Linggarjati, R., & Prasetyo, T. (2021). Adaptive thresholding for detecting transparent small objects under indoor illumination. *Indonesian Journal of Computer Vision*, 7(3), 145–156.
- Mendoza, P., Alvarez, J., & Santos, R. (2023). Contour-based detection of plastic waste in outdoor natural environments. *Environmental Image Analysis Journal*, 11(4), 201–214.
- Mulyana, D. I., & Iskandar, D. (2024). Implementasi deteksi objek real time jenis sampah dengan algoritma YOLOv8. *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, 7(3), 123–133. <https://doi.org/10.31539/intecom.v7i3.8985>
- Nawawi, M., & Hakim, R. (2024). Efficiency of non-deep-learning image processing algorithms for robotics cleaning applications. *Journal of Intelligent Robotics Systems*, 19(1), 33–47.
- Nur Santoso, U. R., & Gamar, F. (2025). Deteksi sampah botol plastik di perairan menggunakan YOLO v4-Tiny. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi Bisnis*, 7(1), 91–98. <https://doi.org/10.47233/jteksis.v7i1.1744>
- Putra, A., & Nugroho, D. (2022). Challenges of color-based segmentation for semi-transparent and reflective plastic waste. *Journal of Digital Image Interpretation*, 5(2), 88–96.
- Rahman, A., & Sari, N. (2021). Adaptive thresholding performance in unstable indoor lighting conditions. *Journal of Vision Computing and Image Processing*, 6(1), 12–25.
- Rosanti, N., Latifah, R., Munir, S., & Maududi, I. A. Q. (2024). Pengaruh jarak objek citra pada model deteksi dan klasifikasi botol plastik menggunakan YOLO. *Jurnal Teknologi Terpadu*, 10(1), 45–58. <https://doi.org/10.54914/jtt.v10i1.1247>
- Safitri, T., & Sonita, A. (2024). Penerapan thresholding adaptive pada model warna YCbCr untuk deteksi flek wajah. *JINTEKS: Jurnal Informatika, Teknologi, dan Sains*, 7(3), 1327–1334. <https://doi.org/10.51401/jinteks.v7i3.6240>
- Utomo, B., Setiawan, F., & Widodo, A. (2022). Contour-based shape extraction for irregular thin objects in indoor environments. *Journal of Applied Computer Vision*, 9(2), 102–118.