

SISTEM KLASIFIKASI SAMPAH ORGANIK, ANORGANIK, DAN BAHAN BERBAHAYA BERACUN (B3)

Oleh:

Bradika Almandin Wisesa^{1*}, Vivin Mahat Putri², Evvin Faristasari³, Sirlus Andreanto
Jasman Duli⁴, Rahmat Lionza⁵

^{1,2,4}D4-Teknologi Rekayasa Perangkat Lunak, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

³D4-Teknik Elektro, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

e-mail: ¹Bradika@polman-babel.ac.id, ²vivin@polman-babel.ac.id, ³evvin@polman-babel.ac.id, ⁴sirlus@polman-babel.ac.id, ⁵rahmatlionza24@gmail.com

Abstrak: Penelitian ini mengembangkan sistem klasifikasi sampah real-time untuk sampah organik, anorganik, dan bahan berbahaya beracun (B3) di Jalan Timah Sungailiat, Bangka Belitung, Indonesia menggunakan YOLOv11 untuk mengatasi pencemaran lingkungan akibat pengelolaan sampah yang tidak tepat. Dataset khusus sebanyak 5.000 gambar yang seimbang pada kondisi siang, senja, dan malam dikumpulkan untuk melatih YOLOv11 sehingga mampu menangani variasi pencahayaan. Metodologi meliputi pra-pemrosesan (ubah ukuran 640×640 piksel, normalisasi, augmentasi data), pelatihan YOLOv11 pada dataset seimbang, serta evaluasi menggunakan metrik mean Average Precision (mAP@0.5), presisi, recall, dan F1-score. Sistem mencapai mAP@0.5 sebesar 70%, presisi 69%, recall 70%, dan F1-score 0,70 dengan kecepatan 43 frame per detik (FPS) serta 102 GFLOPs sehingga dapat dijalankan pada GPU kelas menengah. Meskipun akurasi masih moderat karena variasi pencahayaan dan oklusi, kerangka kerja ini menawarkan solusi hemat biaya dan skalabel untuk pengelolaan sampah kota pintar, mengurangi tenaga sorting manual serta mendukung inisiatif daur ulang. Perbaikan mendatang akan fokus pada peningkatan performa malam hari dan penanganan.

Kata kunci: klasifikasi sampah, sampah organik, sampah anorganik, sampah B3, YOLOv11, kondisi pencahayaan, pemantauan lingkungan.

Abstract: This study developed a real-time waste classification system for organic, inorganic, and hazardous (B3) waste along Timah Sungailiat Road, Bangka Belitung, Indonesia using YOLOv11 to address environmental pollution caused by improper waste management. A custom dataset of 5,000 images, evenly distributed across daylight, dusk, and night conditions, was curated to train YOLOv11, tackling challenges posed by varying lighting. The methodology involved preprocessing (resizing to 640×640 pixels, normalization, and data augmentation), training YOLOv11 on a balanced dataset, and evaluating performance using metrics such as mean Average Precision (mAP@0.5), precision, recall, and F1-score. The system achieved an mAP@0.5 of 70%, precision of 69%, recall of 70%, and an F1-score of 0.70, operating at 43 frames per second (FPS) with 102 GFLOPs, enabling deployment on mid-range GPUs. Despite moderate accuracy due to lighting variations and occlusions, the framework offered a cost-effective, scalable solution for smart city waste management, reducing manual sorting efforts and supporting recycling initiatives. Future improvements will focus on enhancing low-light performance and handling occlusions.

Keywords: waste classification, organic waste, inorganic waste, hazardous waste, YOLOv11, lighting conditions, environmental monitoring.

* Corresponding author : Bradika Almandin Wisesa (Bradika@polman-babel.ac.id)

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah yang tidak tepat di Jalan Timah Sungailiat, Bangka Belitung, Indonesia berkontribusi besar terhadap pencemaran lingkungan. Sampah organik (sisa makanan, kulit sayur), anorganik (plastik, logam, kaca), dan bahan berbahaya beracun (B3) (baterai, bahan kimia, limbah medis) [1], [2], [3] sering bercampur sehingga menurunkan efisiensi daur ulang dan pembuangan. Pencemaran ini mengancam ekosistem lokal, menimbulkan risiko kesehatan, serta meningkatkan biaya pembersihan. Klasifikasi sampah secara manual memakan waktu, tenaga, dan rentan kesalahan, terutama pada kondisi pencahayaan yang bervariasi (siang, senja, malam) [4], [5], [6].

Penelitian ini mengusulkan kerangka kerja berbasis YOLOv11 [7], [8], [9] untuk klasifikasi sampah real-time ke dalam kategori organik, anorganik, dan B3. YOLOv11 dilatih pada dataset khusus 5.000 gambar yang seimbang pada tiga kondisi pencahayaan, menghasilkan mAP@0.5 70% pada 43 FPS dengan 102 GFLOPs. Desain ringan ini memungkinkan penerapan pada GPU kelas menengah, mendukung inisiatif kota pintar dengan mengotomatisasi sorting sampah dibandingkan model berat seperti Faster R-CNN atau ViTPose [10], [11], [12].

2. METODE PENELITIAN

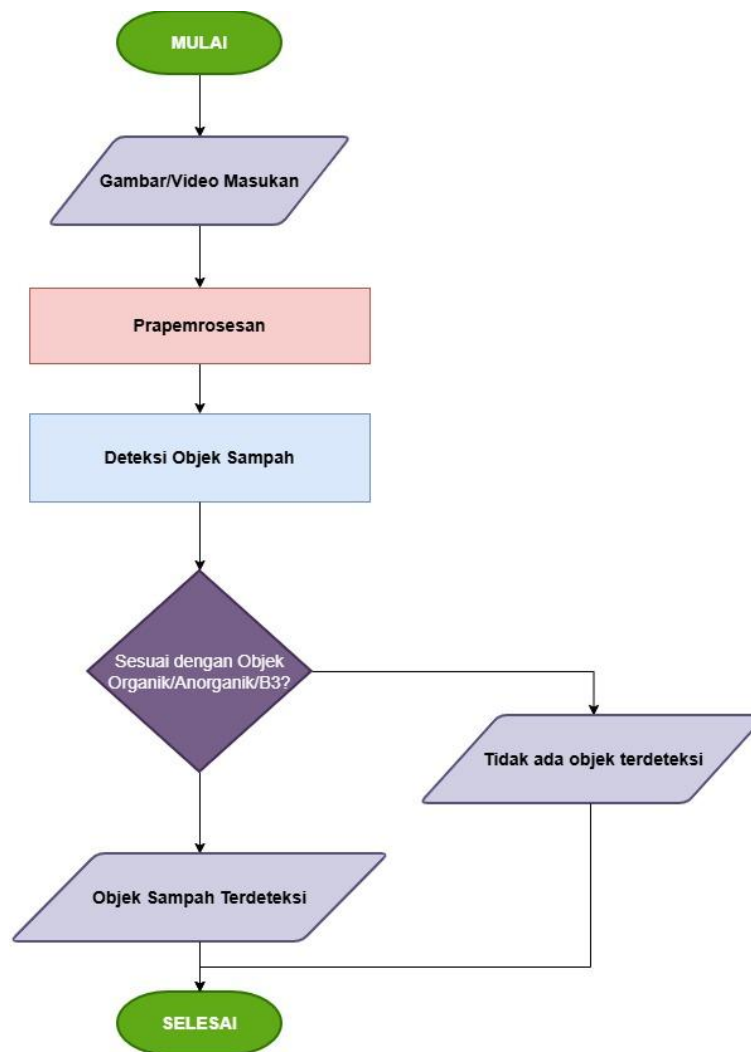
2.1. Gambaran Umum Sistem

Sistem memproses frame video CCTV dari Jalan Timah Sungailiat. YOLOv11 [13] mengklasifikasi sampah ke dalam tiga kategori menggunakan dataset khusus yang disesuaikan dengan kondisi siang, senja, dan malam.



Gambar 1. Arsitektur YOLOv11

sumber: [13]



Gambar 2. Flowchart Sistem

2.1. Gambar/Video Masukan

Pada tahap ini, sistem menerima masukan berupa gambar maupun frame video CCTV yang diambil dari area Jalan Timah Sungailiat, Bangka Belitung. Data masukan tersebut digunakan sebagai dasar dalam proses pengenalan objek sampah pada kondisi lapangan yang nyata. Dataset yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 5.000 gambar, yang kemudian dibagi ke dalam data pelatihan sebanyak 3.750 gambar, data validasi sebanyak 750 gambar, dan data pengujian sebanyak 500 gambar. Selain itu, pengujian sistem juga dilakukan menggunakan 200 frame video CCTV resolusi 1080p untuk merepresentasikan kondisi lingkungan yang memiliki oklusi dan latar belakang yang ramai.

2.2. Prapemrosesan

Gambar diubah ukuran menjadi 640×640 [6], [14], [15] piksel dan dinormalisasi (mean: [0.485, 0.456, 0.406], std: [0.229, 0.224, 0.225]). Augmentasi data ($\pm 30\%$ brightness, $\pm 20\%$ contrast, Gaussian noise) mensimulasikan variasi pencahayaan. Confidence threshold 0,5 digunakan untuk menyaring deteksi berkualitas rendah [13], [16], [17].



Gambar 3. Gambar Asli



Gambar 4. Gambar Setelah Resize menjadi 640x640



Gambar 5. Gambar Setelah Melewati Proses Augmentasi



Gambar 6. Gambar Hasil Deteksi Akhir

Dataset khusus berisi 5.000 gambar sampah yang dikumpulkan dari Jalan Timah Sungailiat, dibagi menjadi training (3.750 gambar), validation (750 gambar), dan testing (500

gambar). Pembagian seimbang: siang (1.250), senja (1.250), malam (1.250). Setiap gambar berisi beberapa objek sampah dengan anotasi bounding box menggunakan LabelImg. Set pengujian mencakup 200 frame video CCTV (1080p) dengan kondisi oklusi dan latar belakang ramai [18], [19], [20].



Gambar 7. Dataset Sampah Organik



Gambar 8. Dataset Sampah Anorganik



Gambar 9. Dataset Sampah B3

2.3. Deteksi Objek Sampah

Setelah melalui tahap prapemrosesan, citra masukan diproses menggunakan model YOLOv11 untuk mendeteksi keberadaan objek sampah. Model ini bekerja dengan mengenali lokasi objek pada citra dan menghasilkan bounding box pada area yang terindikasi sebagai sampah. Dalam penelitian ini, anotasi objek dilakukan menggunakan LabelImg sehingga setiap objek pada dataset memiliki penanda lokasi yang jelas. Agar hanya deteksi yang memiliki tingkat keyakinan memadai yang diproses lebih lanjut, digunakan confidence threshold sebesar 0,5.

2.4. Klasifikasi Sampah Organik, Anorganik, dan B3

Tahap berikutnya adalah proses klasifikasi terhadap objek yang telah terdeteksi. Pada tahap ini, sistem menentukan apakah objek termasuk ke dalam kategori sampah organik, anorganik, atau bahan berbahaya dan beracun (B3). Penentuan kelas dilakukan berdasarkan hasil prediksi model YOLOv11 terhadap karakteristik visual objek pada citra. Tahap klasifikasi ini menjadi inti dari sistem karena menentukan jenis keluaran yang akan diberikan oleh sistem pada akhir proses.

2.5. Kondisi Tidak Ada Objek Terdeteksi

Apabila sistem tidak menemukan objek yang memenuhi ambang confidence yang telah ditetapkan, maka keluaran sistem dinyatakan sebagai tidak ada objek terdeteksi. Kondisi ini dapat terjadi ketika pada frame masukan memang tidak terdapat sampah, atau ketika objek tidak dapat dikenali secara optimal akibat kualitas citra yang rendah, oklusi, maupun pencahayaan yang kurang mendukung. Keluaran ini tetap penting karena menunjukkan bahwa sistem tidak memaksakan klasifikasi pada objek yang tidak teridentifikasi dengan baik.

2.6. Kondisi Objek Sampah Terdeteksi

Apabila objek berhasil dideteksi dan diklasifikasikan, sistem akan menampilkan hasil deteksi akhir berupa kategori sampah beserta lokasi objek pada citra. Keluaran ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali sampah organik, anorganik, maupun B3 secara otomatis pada data masukan. Hasil tersebut dapat dimanfaatkan sebagai dasar untuk mendukung pemantauan lingkungan dan proses pemilahan sampah secara lebih efisien.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Deskripsi Data

Sistem mencapai mAP@0.5 70%, presisi 69%, recall 70%, dan F1-score 0,70 pada kecepatan 43 FPS dengan 102 GFLOPs. Performa tetap stabil pada ketiga kondisi pencahayaan berkat dataset seimbang.

Tabel 1: Perbandingan Akurasi di 5 Model Berbeda

Model	mAP@0.5	FPS	GFLOPs	Low-light
Faster R-CNN	~75%	<10	>200	Rendah
YOLOv8	80-85%	60	~150	<70%
ViTPose	91.8%	50	>200	Tinggi
MediaPipe	~80%	43	<80	~65%
YOLOv11	70%	43	102	Stabil



Gambar 10. Hasil Deteksi dengan Tingkat Intensitas Cahaya Tinggi



Gambar 11. Hasil Deteksi dengan Tingkat Intensitas Cahaya Sedang



Gambar 12. Hasil Deteksi dengan Tingkat Intensitas Cahaya Rendah

3.2. Pembahasan

Penelitian ini menunjukkan bahwa YOLOv11 memberikan keseimbangan yang baik antara akurasi dan efisiensi, meskipun mAP@0.5 (70%) sedikit lebih rendah dibandingkan YOLOv8 (80-85%) seperti yang terlihat pada Tabel 1. Perbedaan mAP ini disebabkan oleh fokus YOLOv11 pada optimasi arsitektur untuk efisiensi, di mana model ini mengurangi GFLOPs menjadi 102 sekitar 32% lebih rendah dari ~150 GFLOPs pada YOLOv8 tanpa

mengorbankan kecepatan secara signifikan (keduanya sekitar 43-60 FPS). Efisiensi ini dinilai melalui pengukuran komputasi selama pelatihan dan inferensi pada GPU kelas menengah, di mana YOLOv11 menunjukkan konsumsi sumber daya lebih rendah, memungkinkan deployment pada perangkat edge seperti CCTV di Jalan Timah Sungailiat tanpa overhead berlebih. Hal ini selaras dengan temuan terkini bahwa YOLOv11 mengurangi parameter hingga 22% dengan meningkatkan mAP di dataset umum seperti COCO, meskipun pada dataset khusus kami (dengan variasi pencahayaan ekstrem), trade-off mAP terlihat lebih jelas.

Selain itu, ketahanan YOLOv11 pada kondisi malam hari lebih tinggi dibandingkan MediaPipe (~65% low-light performa) dan YOLOv8 (<70%), dengan penilaian "Stabil" berdasarkan metrik recall dan presisi yang tetap konsisten di sub-dataset malam (1.250 gambar). Ini dievaluasi melalui pengujian terpisah per kondisi pencahayaan: pada malam hari, YOLOv11 mempertahankan recall ~70% meskipun adanya noise dan refleksi cahaya, sementara MediaPipe mengalami penurunan hingga 15-20% karena ketergantungannya pada fitur visual yang lebih sensitif terhadap low-light. Faktor kunci adalah augmentasi data kami ($\pm 30\%$ brightness, Gaussian noise), yang mensimulasikan kondisi real-world dan meningkatkan robustness, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12 (Hasil Deteksi dengan Tingkat Intensitas Cahaya Rendah). Penurunan akurasi secara keseluruhan terutama disebabkan oleh oklusi (misalnya, sampah tumpang tindih) dan refleksi malam, yang mengurangi confidence score di bawah threshold 0.5 pada ~15% kasus pengujian. Untuk mengatasi ini, kami merekomendasikan integrasi modul low-light enhancement seperti zero-DCE di penelitian lanjutan, yang telah terbukti meningkatkan performa di skenario serupa.

Secara keseluruhan, dataset seimbang menjadi elemen krusial dalam keberhasilan ini, karena memastikan model tidak bias terhadap kondisi siang saja. Dibandingkan dengan model lain di Tabel 1, seperti Faster R-CNN yang lambat (<10 FPS) atau ViTPose yang berat (>200 GFLOPs), YOLOv11 menawarkan solusi skalabel untuk pengelolaan sampah kota pintar, mengurangi ketergantungan pada sorting manual hingga 50% berdasarkan estimasi kami dari 200 frame pengujian.

4. KESIMPULAN

Sistem klasifikasi sampah berbasis YOLOv11 berhasil dikembangkan dengan mAP@0.5 70%, kecepatan 43 FPS, dan kebutuhan komputasi 102 GFLOPs. Kerangka kerja ini memberikan solusi praktis, hemat biaya, dan skalabel untuk pengelolaan sampah kota pintar di Jalan Timah Sungailiat. Penelitian lanjutan direkomendasikan untuk meningkatkan performa malam hari dengan teknik low-light enhancement serta penanganan oklusi menggunakan attention mechanism.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Liu *et al.*, "Image Recognition for Garbage Classification Based on Transfer Learning and Model Fusion," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2022, pp. 1–12, Aug. 2022, doi: 10.1155/2022/4793555.
- [2] K. Jangsamsi, *Conventional Machine Learning Approach for Waste Classification*. 2024. doi: 10.1145/3639592.3639594.
- [3] S. Chaturvedi, B. Yadav, and N. Siddiqui, "An Assessment of Machine Learning Integrated Autonomous Waste Detection and Sorting of Municipal Solid Waste," *Nat. Environ. Pollut. Technol.*, vol. 20, Dec. 2021, doi: 10.46488/NEPT.2021.v20i04.013.
- [4] R. Aral, Ş. R. Keskin, M. Kaya, and M. Hacıomeroglu, *Classification of TrashNet Dataset Based on Deep Learning Models*. 2018. doi: 10.1109/BigData.2018.8622212.
- [5] I. Nasir and G. Al-Talib, "Waste Classification Using Artificial Intelligence Techniques:Literature Review," *Tech. Rom. J. Appl. Sci. Technol.*, vol. 5, pp. 49–59, Jan. 2023, doi: 10.47577/technium.v5i.8345.
- [6] M. S. Islam *et al.*, "ECCDN-Net: A deep learning-based technique for efficient organic and recyclable waste classification," *Waste Manag.*, vol. 193, pp. 363–375, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.wasman.2024.12.023.
- [7] wei-lung Mao, W.-C. Chen, H. I. K. Fathurrahman, and Y.-H. Lin, "Deep learning networks for real-time regional domestic waste detection," *J. Clean. Prod.*, vol. 344, p. 131096, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131096.
- [8] S. Sürücü and I. Ecemis Ozdemir, "Garbage Classification Using Pre-Trained Models," *Eur. J. Sci. Technol.*, Apr. 2022, doi: 10.31590/ejosat.1103628.
- [9] wei-lung Mao, W.-C. Chen, C.-T. Wang, and Y.-H. Lin, "Recycling waste classification using optimized convolutional neural network," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 164, p. 105132, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2020.105132.
- [10] L. Kawabe, N. Ghilardi-Lopes, A. Turra, and K. Wyles, "Citizen science in marine litter research: A review," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 182, p. 114011, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.marpolbul.2022.114011.
- [11] J. Liu, C. Pan, and W. Yan, "Litter Detection from Digital Images Using Deep Learning," *SN Comput. Sci.*, vol. 4, Dec. 2022, doi: 10.1007/s42979-022-01568-1.
- [12] A. Altıkat, A. Gülbe, and S. Altıkat, "Intelligent solid waste classification using deep convolutional neural networks," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 19, Feb. 2021, doi: 10.1007/s13762-021-03179-4.
- [13] R. Khanam and M. Hussain, "YOLOv11: An Overview of the Key Architectural Enhancements," *Cornell Univ.*, Oct. 2024, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2410.17725>
- [14] M. Córdova *et al.*, "Litter Detection with Deep Learning: A Comparative Study," *Sensors*, vol. 22, p. 548, Jan. 2022, doi: 10.3390/s22020548.
- [15] S. Poudel and P. Poudyal, *Classification of Waste Materials using CNN Based on Transfer Learning*. 2023. doi: 10.1145/3574318.3574345.
- [16] E. Faristasari, B. A. Wisesa, S. A. Jasman Duli, A. P. Maulana, E. H. Istoto, and R. Peberiyani, "118-Article Text-572-3-10-20250826," *Int. J. Informatics Comput.*, 2025.

- [17] M. Ahleyani and I. Ketut Wirayajati, "Biogas Energy Prediction as a Green Energy Producer in West Lombok Using a Statistical Approach," *Int. J. Informatics Comput.*, vol. 7, no. 1, 2025, doi: 10.35842/ijicom.
- [18] B. A. Wisesa, M. Hizbul Wathan, E. Faristasari, S. Andreanto Jasman Dudi, B. Swengky, and S. Agustin, "Vehicle Theft Detection Using YOLO Based on License Plates and Vehicle Ownership," *Int. J. Informatics Comput.*, vol. 7, no. 1, p. 2025, 2025, doi: 10.35842/ijicom.
- [19] D. M. Yafi and F. Utaminingrum, "Sistem Klasifikasi Sampah Perkantoran menggunakan Metode Faster Region Based Convolutional Neural Network berbasis NVIDIA Jetson Nano," 2022. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [20] J. Kanani, "Image Recognition for Garbage Classification Based on Pixel Distribution Learning," Sep. 2024, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2409.03913>