

IMPLEMENTASI METODE EXTRA TREES CLASSIFIER UNTUK KLASIFIKASI JENIS SAMPAH MENGGUNAKAN EKSTRAKSI FITUR HISTOGRAM WARNA, HISTOGRAM OF ORIENTED GRADIENT, DAN LOCAL BINARY PATTERN

Esra Louis Veronika Gultom, Adlian Jefiza, Feralia Fitri
Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL	ABSTRAK
Sejarah Artikel: Diterima: Juli 2026 Revisi: Juli 2026 Diterima: Juli 2026 Dipublikasi: Juli 2026 Kata Kunci: Computer Vision; Extra Trees Classifier; HOG; LBP; Klasifikasi Sampah Penulis Korespondensi: esralouis25@gmail.com	Peningkatan jumlah sampah yang dihasilkan masyarakat menuntut adanya sistem pemilahan sampah yang lebih efektif dan otomatis. Salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah <i>computer vision</i> yang mampu mengenali jenis sampah berdasarkan karakteristik visualnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan enam jenis sampah yaitu cardboard, glass, metal, paper, plastic, dan trash menggunakan metode Extra Trees Classifier. Dataset yang digunakan merupakan Garbage Classification Dataset yang diperoleh dari Kaggle dan telah dibagi menjadi data latih, validasi, dan pengujian. Tahapan penelitian meliputi <i>preprocessing</i> citra, ekstraksi fitur menggunakan Histogram Warna, Histogram of Oriented Gradient (HOG), dan Local Binary Pattern (LBP), kemudian dilanjutkan dengan proses klasifikasi menggunakan Extra Trees Classifier. Evaluasi model dilakukan menggunakan accuracy, precision, recall, dan F1-score, confusion matrix, dan ROC Curve. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model mampu mencapai akurasi sebesar 99,88% dengan nilai precision, recall, dan F1-score mendekati 1,00 pada seluruh kelas. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi fitur Histogram Warna, HOG, dan LBP mampu merepresentasikan karakteristik objek sampah dengan baik sehingga menghasilkan performa klasifikasi yang sangat tinggi. ABSTRACT <i>The increasing amount of waste generated by society requires a more effective and automated waste sorting system. One of the technologies that can be utilized is computer vision, which is capable of recognizing waste types based on their visual characteristics. This study aims to classify six categories of waste, namely cardboard, glass, metal, paper, plastic, and trash using the Extra Trees Classifier method. The dataset used is the Garbage Classification Dataset obtained from Kaggle and divided into training, validation, and testing sets. The research stages include image preprocessing, feature extraction using Color Histogram, Histogram of Oriented Gradients (HOG), and Local Binary Pattern (LBP), followed by classification using Extra Trees Classifier. Model performance was evaluated using accuracy, precision, recall, F1-score, confusion matrix, and ROC Curve. The experimental results show that the proposed model achieved an accuracy of 99.88% with precision, recall, and F1-score values approaching 1.00 for all classes. These results indicate that the combination of Color Histogram, HOG, and LBP features can effectively represent waste object characteristics and provide excellent classification performance.</i>

PENDAHULUAN

Perkembangan dalam bidang *computer vision* dan *artificial intelligence* menunjukkan bahwa permasalahan pengelolaan dan pemilahan sampah semakin menjadi perhatian dalam beberapa tahun terakhir [1]. Kondisi ini dipengaruhi oleh meningkatnya jumlah sampah akibat

pertumbuhan populasi, urbanisasi, serta aktivitas konsumsi masyarakat yang semakin tinggi, sehingga diperlukan kajian lebih mendalam untuk memahami pengembangan sistem pemilahan sampah otomatis berbasis citra digital.

Penelitian oleh Dalal dan Triggs memperkenalkan metode Histogram of Oriented Gradient (HOG) yang mampu merepresentasikan karakteristik bentuk objek secara efektif melalui distribusi gradien citra [2]. Selanjutnya, Ojala dkk. mengembangkan metode Local Binary Pattern (LBP) yang banyak digunakan untuk ekstraksi fitur tekstur karena memiliki ketahanan terhadap perubahan pencahayaan [3]. Pada bidang klasifikasi citra, Geurts dkk. memperkenalkan algoritma Extra Trees Classifier yang merupakan pengembangan dari ensemble learning berbasis pohon keputusan dengan tingkat randomisasi yang lebih tinggi dibandingkan Random Forest [4]. Algoritma ini terbukti mampu meningkatkan kemampuan generalisasi model dan mengurangi risiko *overfitting* pada berbagai kasus klasifikasi. Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, kombinasi fitur warna, bentuk, dan tekstur dengan metode Extra Trees Classifier memiliki potensi untuk menghasilkan sistem klasifikasi sampah yang akurat dan efisien.

Meskipun berbagai penelitian sebelumnya telah membahas klasifikasi jenis sampah menggunakan metode *machine learning* dan *deep learning* seperti Convolutional Neural Network (CNN), Support Vector Machine (SVM), dan Random Forest [5], [6], masih terdapat keterbatasan berupa kompleksitas komputasi yang tinggi, kebutuhan sumber daya perangkat keras yang besar, serta belum optimalnya pemanfaatan kombinasi fitur warna, bentuk, dan tekstur pada beberapa penelitian [6], [7]. Keterbatasan tersebut memunculkan kebutuhan untuk meneliti lebih lanjut mengenai penggunaan metode Extra Trees Classifier dengan kombinasi fitur Histogram Warna, Histogram of Oriented Gradient (HOG), dan Local Binary Pattern (LBP) dalam klasifikasi jenis sampah, agar diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif [2], [3], [4]. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem klasifikasi jenis sampah yang mampu mengidentifikasi enam kategori sampah, yaitu cardboard, glass, metal, paper, plastic, dan trash dengan tingkat akurasi yang tinggi dengan menggunakan pendekatan *computer vision* berbasis ekstraksi fitur dan algoritma Extra Trees Classifier. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pada bidang *computer vision*, *machine learning*, dan *smart waste management* serta memberikan manfaat praktis bagi industri pengolahan limbah, pengelola lingkungan, institusi pendidikan, dan peneliti di bidang kecerdasan buatan.

LANDASAN TEORI

Kajian teori ini membahas konsep-konsep utama dan hasil penelitian terdahulu yang menjadi dasar dalam menganalisis klasifikasi jenis sampah berbasis *computer vision* menggunakan metode Extra Trees Classifier. Secara teoretis, *Computer Vision* dan *Machine Learning* menjelaskan bahwa komputer dapat mengenali, mengekstraksi, dan mengklasifikasikan objek berdasarkan karakteristik visual yang terdapat pada citra digital [1], sehingga konsep ini relevan untuk memahami proses identifikasi jenis sampah berdasarkan informasi warna, bentuk, dan tekstur objek. Selain itu, teori ekstraksi fitur citra menggunakan Histogram Warna, Histogram of Oriented Gradient (HOG), dan Local Binary Pattern (LBP) turut memberikan landasan mengenai representasi fitur visual yang mampu menggambarkan karakteristik warna, bentuk, dan tekstur suatu objek, yang memperkuat hubungan antara fitur citra dan tingkat akurasi klasifikasi jenis sampah [2], [3].

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yu dan Grammenos (2021) [5] menunjukkan bahwa penerapan *computer vision* pada sistem klasifikasi sampah mampu meningkatkan efisiensi

proses pemilahan limbah melalui pemanfaatan fitur visual dan algoritma kecerdasan buatan, namun masih terdapat keterbatasan pada optimalisasi kombinasi fitur yang digunakan untuk meningkatkan performa klasifikasi. Studi-studi lainnya yang dilakukan oleh Song dkk. (2022) [7] juga menegaskan bahwa penggabungan fitur warna dan bentuk mampu meningkatkan kemampuan model dalam membedakan berbagai kategori limbah dibandingkan penggunaan fitur tunggal, sedangkan penelitian Jin dkk. (2023) [6] menunjukkan bahwa kualitas representasi fitur memiliki pengaruh signifikan terhadap performa sistem klasifikasi sampah berbasis *machine vision*.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada penggunaan metode *deep learning* yang memerlukan sumber daya komputasi relatif tinggi. Oleh karena itu, diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengonfirmasi atau memperluas temuan tersebut dalam konteks klasifikasi enam kategori sampah menggunakan kombinasi Histogram Warna, HOG, dan LBP yang diklasifikasikan dengan metode Extra Trees Classifier. Berdasarkan keseluruhan teori dan penelitian terdahulu tersebut, penelitian ini mengadopsi kerangka berpikir bahwa kombinasi fitur warna, bentuk, dan tekstur mampu menghasilkan representasi visual yang lebih komprehensif sehingga algoritma Extra Trees Classifier dapat meningkatkan performa klasifikasi jenis sampah, yang selanjutnya akan digunakan sebagai dasar dalam penyusunan hipotesis dan analisis hasil penelitian.

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini dirancang untuk menjelaskan pendekatan, teknik pengumpulan data, serta prosedur analisis yang digunakan dalam mengkaji klasifikasi jenis sampah berbasis *computer vision* menggunakan metode Extra Trees Classifier. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif karena dianggap paling sesuai untuk menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian yang berfokus pada pengukuran performa model klasifikasi berdasarkan nilai akurasi, precision, recall, dan F1-score. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh citra sampah yang terdapat pada Garbage Classification Dataset, sedangkan sampelnya ditentukan dengan menggunakan teknik *purposive sampling*, sehingga diperoleh dataset yang terdiri dari enam kategori sampah yaitu cardboard, glass, metal, paper, plastic, dan trash yang telah dibagi menjadi data *training*, *validation*, dan *testing* sebagai responden atau objek penelitian. Data dikumpulkan melalui dokumentasi dan observasi dataset citra digital yang diperoleh dari platform Kaggle, yang telah melalui proses *preprocessing* berupa perubahan ukuran citra menjadi 128×128 piksel untuk memastikan keseragaman data sebelum dilakukan proses ekstraksi fitur. Setelah itu, setiap citra diekstraksi menggunakan Histogram Warna, Histogram of Oriented Gradient (HOG), dan Local Binary Pattern (LBP) untuk memperoleh informasi warna, bentuk, dan tekstur objek sampah.

Setelah data terkumpul, analisis dilakukan menggunakan metode *machine learning* Extra Trees Classifier guna memperoleh temuan yang objektif dan sesuai dengan tujuan penelitian. Proses pelatihan model dilakukan menggunakan data *training*, sedangkan evaluasi model dilakukan menggunakan data *testing* dengan metrik accuracy, precision, recall, F1-score, confusion matrix, dan Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve. Seluruh prosedur penelitian dilaksanakan secara sistematis untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh akurat, konsisten, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian yang diperoleh dari analisis terhadap data yang telah dikumpulkan, serta pembahasan mengenai temuan tersebut berdasarkan teori dan penelitian

terdahulu. Hasil analisis menunjukkan bahwa model klasifikasi yang dibangun menggunakan metode Extra Trees Classifier dengan kombinasi fitur Histogram Warna, Histogram of Oriented Gradient (HOG), dan Local Binary Pattern (LBP) mampu mencapai tingkat akurasi sebesar 99,88% pada data pengujian, yang menggambarkan kemampuan model dalam mengenali dan membedakan enam kategori sampah secara sangat akurat berdasarkan karakteristik warna, bentuk, dan tekstur objek.

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai precision, recall, dan F1-score yang mendekati 1,00 pada seluruh kelas, yaitu cardboard, glass, metal, paper, plastic, dan trash. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model tidak hanya memiliki kemampuan yang baik dalam melakukan prediksi yang benar, tetapi juga mampu meminimalkan kesalahan klasifikasi antar kategori sampah. Selain itu, confusion matrix menunjukkan bahwa dari total 2527 data pengujian, hanya terdapat 3 kesalahan klasifikasi, yaitu satu data pada kelas metal yang teridentifikasi sebagai glass serta dua data pada kelas plastic yang teridentifikasi sebagai glass. Dengan demikian, lebih dari 99% data berhasil diklasifikasikan secara tepat oleh model.

Temuan ini kemudian dibandingkan dengan teori terkait, di mana teori ekstraksi fitur citra menjelaskan bahwa kombinasi fitur warna, bentuk, dan tekstur mampu menghasilkan representasi visual yang lebih lengkap dibandingkan penggunaan satu jenis fitur saja. Pada penelitian ini, Histogram Warna berperan dalam merepresentasikan distribusi warna objek, HOG merepresentasikan bentuk dan arah gradien objek, sedangkan LBP merepresentasikan pola tekstur permukaan objek. Kombinasi ketiga fitur tersebut menghasilkan vektor fitur yang mampu membedakan karakteristik visual setiap kategori sampah secara efektif sehingga meningkatkan performa klasifikasi.

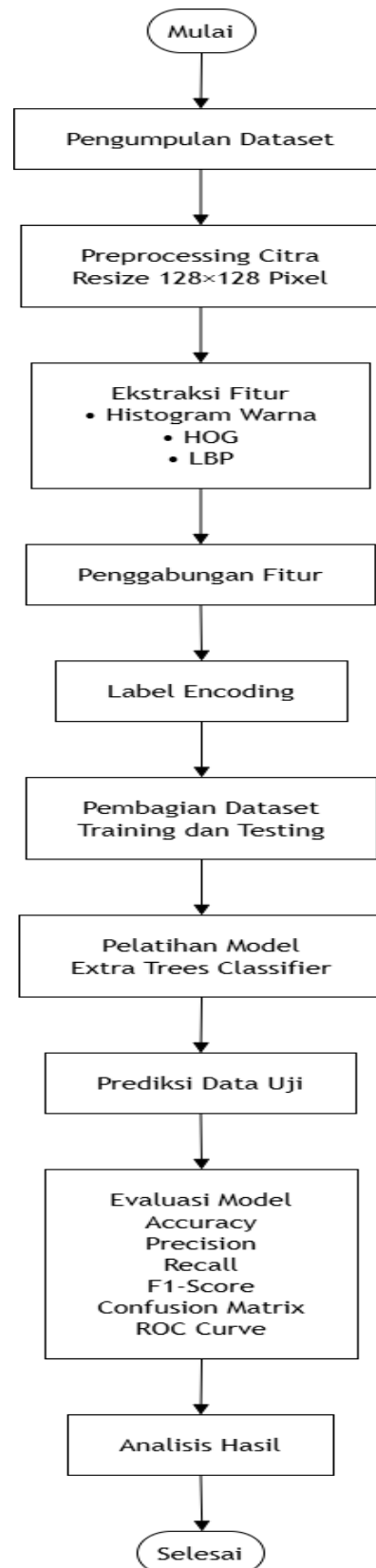
Selain itu, penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Song dkk. (2022) menunjukkan bahwa penggabungan beberapa fitur visual dapat meningkatkan performa sistem klasifikasi limbah dibandingkan penggunaan fitur tunggal. Penelitian Jin dkk. (2023) juga menunjukkan bahwa kualitas representasi fitur memiliki pengaruh signifikan terhadap kemampuan sistem *machine vision* dalam mengenali objek limbah. Hasil penelitian ini menunjukkan pola yang serupa karena penggunaan kombinasi Histogram Warna, HOG, dan LBP menghasilkan performa yang sangat tinggi pada proses klasifikasi sampah. Perbandingan ini menunjukkan adanya kesamaan antara hasil penelitian saat ini dan studi sebelumnya, yaitu bahwa kualitas ekstraksi fitur menjadi faktor utama yang menentukan keberhasilan sistem klasifikasi citra.

Hasil evaluasi menggunakan Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve menunjukkan bahwa seluruh kategori sampah memiliki nilai Area Under Curve (AUC) sebesar 1,00. Nilai tersebut menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan diskriminasi yang sangat baik dalam membedakan setiap kelas sampah. Semakin mendekati nilai 1,00, semakin baik kemampuan model dalam memisahkan kelas positif dan kelas negatif pada proses klasifikasi. Oleh karena itu, hasil ROC Curve memperkuat temuan bahwa model yang dikembangkan memiliki tingkat keandalan yang sangat tinggi.

Pembahasan lebih lanjut mengungkap bahwa faktor kombinasi fitur warna, bentuk, dan tekstur serta penggunaan algoritma Extra Trees Classifier memiliki pengaruh signifikan terhadap performa klasifikasi. Extra Trees Classifier bekerja dengan membangun banyak pohon keputusan yang dibentuk secara acak sehingga mampu meningkatkan kemampuan generalisasi model dan mengurangi risiko *overfitting*. Selain itu, metode ini juga mampu menangani data berdimensi tinggi yang dihasilkan dari proses ekstraksi fitur HOG dan LBP tanpa mengalami penurunan performa yang signifikan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam memperkuat kajian mengenai penerapan *machine learning* pada bidang *computer vision* untuk klasifikasi sampah. Hasil akurasi sebesar 99,88% menunjukkan bahwa kombinasi Histogram Warna, HOG, dan LBP yang diklasifikasikan menggunakan Extra Trees Classifier merupakan pendekatan yang

efektif untuk mengidentifikasi berbagai jenis sampah berdasarkan citra digital. Temuan ini juga membuka peluang untuk penelitian lanjutan yang dapat mengkaji implementasi sistem secara *real-time* menggunakan kamera dan perangkat *embedded*, sehingga dapat diterapkan pada sistem pemilahan sampah otomatis di lingkungan industri maupun *smart city*.



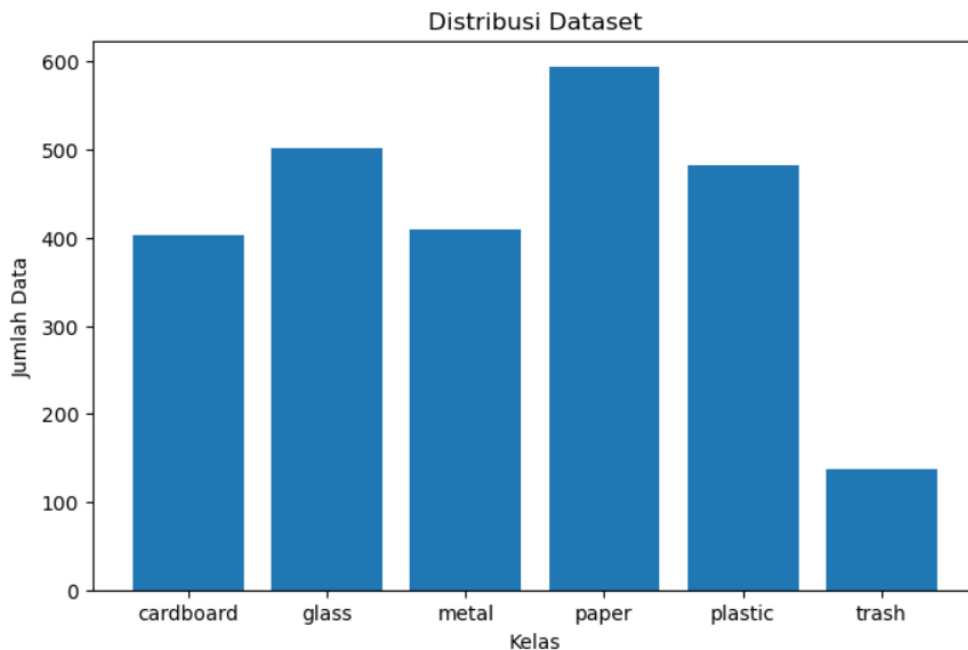
Gambar 1. Flowchart Tahapan Penelitian

Gambar 1 menunjukkan tahapan penelitian yang dimulai dari proses pengumpulan dataset Garbage Classification, *preprocessing* citra, ekstraksi fitur menggunakan Histogram Warna, Histogram of Oriented Gradient (HOG), dan Local Binary Pattern (LBP). Fitur yang diperoleh kemudian digabungkan dan digunakan sebagai input pada model Extra Trees Classifier. Selanjutnya dilakukan proses pengujian dan evaluasi menggunakan metrik accuracy, precision, recall, F1-score, confusion matrix, dan ROC Curve untuk mengetahui performa model dalam mengklasifikasikan jenis sampah.

Tabel 1. Hasil Evaluasi Model

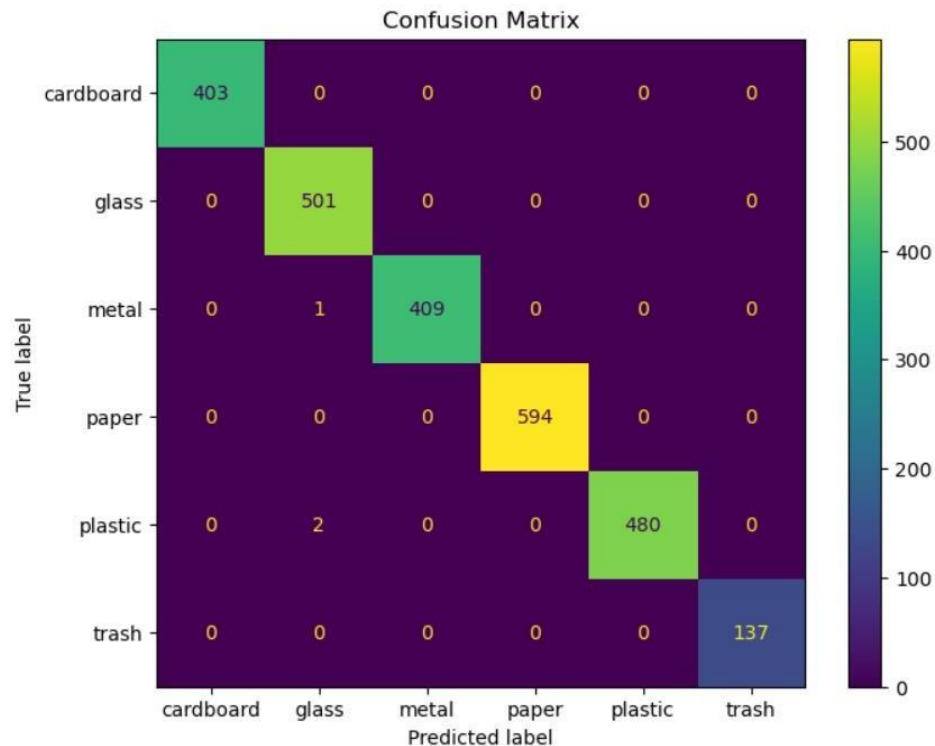
Parameter	Nilai
Accuracy	99,88%
Precision	1,00
Recall	1,00
F1-Score	1,00
AUC	1,00

Berdasarkan hasil pengujian, model berhasil mengklasifikasikan hampir seluruh data pengujian dengan benar. Tingginya akurasi menunjukkan bahwa kombinasi fitur warna, bentuk, dan tekstur mampu memberikan representasi yang baik terhadap karakteristik setiap jenis sampah.



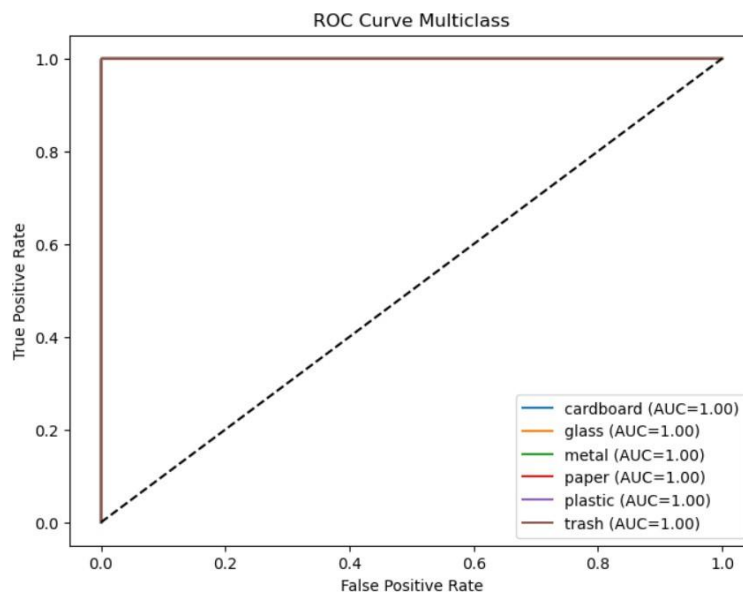
Gambar 2. Distribusi Dataset

Gambar 2 menunjukkan distribusi jumlah data pada masing-masing kategori sampah. Distribusi data yang relatif seimbang membantu model dalam mempelajari karakteristik setiap kelas secara lebih optimal.



Gambar 3. Confusion Matrix Extra Trees Classifier

Berdasarkan confusion matrix pada Gambar 3, sebagian besar data berhasil diklasifikasikan dengan benar. Kesalahan klasifikasi hanya terjadi sebanyak tiga data dari total 2527 data pengujian.



Gambar 4. ROC Curve

Gambar 4 menunjukkan bahwa seluruh kelas memiliki nilai AUC sebesar 1,00 yang mengindikasikan kemampuan model yang sangat baik dalam membedakan setiap kategori sampah.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan metode Extra Trees Classifier dengan kombinasi fitur Histogram Warna, Histogram of Oriented Gradient (HOG), dan Local Binary Pattern (LBP) mampu menghasilkan performa yang sangat baik dalam klasifikasi jenis

sampah berbasis citra digital. Hal ini memberikan gambaran yang jelas mengenai kemampuan algoritma *machine learning* dalam mengenali karakteristik visual objek berdasarkan informasi warna, bentuk, dan tekstur.

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa model yang dikembangkan berhasil mengklasifikasikan enam kategori sampah, yaitu cardboard, glass, metal, paper, plastic, dan trash dengan tingkat akurasi sebesar 99,88%, precision sebesar 1,00, recall sebesar 1,00, dan F1-score sebesar 1,00, yang menguatkan bahwa kombinasi ekstraksi fitur Histogram Warna, HOG, dan LBP mampu menghasilkan representasi visual yang efektif untuk membedakan setiap kategori sampah secara akurat.

Penelitian ini juga mengungkapkan bahwa penggunaan metode Extra Trees Classifier mampu menangani data hasil ekstraksi fitur berdimensi tinggi dengan sangat baik, yang ditunjukkan oleh nilai Area Under Curve (AUC) sebesar 1,00 pada seluruh kelas serta hanya terdapat tiga kesalahan klasifikasi dari total 2527 data pengujian, sehingga memberikan kontribusi terhadap pengembangan pengetahuan dalam bidang *computer vision*, *machine learning*, dan sistem klasifikasi citra untuk pengelolaan sampah otomatis.

Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi penelitian selanjutnya, khususnya dalam mengkaji implementasi sistem klasifikasi sampah secara *real-time* menggunakan kamera, integrasi dengan perangkat *embedded* seperti Raspberry Pi atau ESP32, serta pengembangan sistem *smart waste management* berbasis *Internet of Things (IoT)*. Dengan demikian, studi ini tidak hanya memberikan pemahaman baru mengenai penerapan Extra Trees Classifier pada klasifikasi sampah, tetapi juga membuka peluang untuk pengembangan kajian lebih lanjut yang dapat memperkaya literatur terkait otomasi pemilahan sampah dan penerapan kecerdasan buatan di bidang lingkungan.

Daftar Pustaka

- [1] Richard Szeliski, *Computer Vision: Algorithms and Applications*, 2nd ed. Springer, 2022.
- [2] N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection," in *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2005, pp. 886–893.
- [3] T. Ojala, M. Pietikäinen, and T. Mäenpää, "Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 24, no. 7, pp. 971–987, 2002.
- [4] P. Geurts, D. Ernst, and L. Wehenkel, "Extremely randomized trees", *Machine Learning*, vol. 63, no. 1, pp. 3–42, 2006, doi: 10.1007/s10994-006-6226-1.
- [5] Y. Yu and R. Grammenos, "Towards artificially intelligent recycling: Improving image processing for waste classification," *arXiv preprint arXiv:2108.06274*, 2021.
- [6] S. Jin, Z. Yang, G. Królczyk, and Z. Li, "Garbage detection and classification using a new deep learning-based machine vision system as a tool for sustainable waste recycling," *Waste Management*, vol. 162, pp. 123–130, 2023.
- [7] L. Song, H. Zhao, Z. Ma, and Q. Song, "A new method of construction waste classification based on two-level fusion," *PLOS ONE*, vol. 17, no. 12, p. e0279472, 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0279472.