



Deteksi Sampah Organik dan Anorganik di Permukaan Sungai Deli Menggunakan *Convolutional Neural Network*

Angelita Anggi Sean Manuella Limbong¹, Arnita²

¹ Ilmu Komputer, Universitas Negeri Medan, Indonesia

² Ilmu Komputer, Universitas Negeri Medan, Indonesia

Email author: angelitalimbong182@gmail.com

Article Info

Article history:

Received June 25, 2026

Revised June 27, 2026

Accepted July 3, 2026

Available July 13, 2026

Published July 30, 2026

Keywords:

CNN;

MobileNetV2;

Classification;

Deli River;

Drone Images

ABSTRACT

River pollution caused by waste remains a serious environmental issue, particularly in urban areas such as the Deli River. The process of monitoring and identifying waste types is still largely performed manually, making it inefficient and ineffective. Therefore, this study aims to develop an image-based classification system for organic and inorganic waste using the Convolutional Neural Network (CNN) method with the MobileNetV2 architecture. The dataset used in this research consists of surface images of the Deli River captured using a drone camera. The images were processed through preprocessing and data augmentation stages, followed by data splitting, model training, and testing. The CNN model was designed to classify two waste categories, namely organic and inorganic waste. Model performance was evaluated using a confusion matrix with accuracy, precision, recall, and F1-score as evaluation metrics.

The results indicate that the proposed CNN model is able to classify organic and inorganic waste effectively. The system achieved an accuracy of 94%, a precision of 92%, a recall of 98%, and an F1-score of 95%. These results demonstrate that the model has excellent performance and reliability in identifying waste characteristics based on shape, color, and texture features from river surface images. Therefore, the developed system has the potential to be implemented as an automatic and sustainable tool for monitoring the cleanliness of the Deli River.

Corresponding Author:

Angelita Anggi Sean Manuella Limbong,

Universitas Negeri Medan

Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan,

Kab Deli Serdang, Sumatera Utara 20221

Email: angelitalimbong182@gmail.com



1. INTRODUCTION

Pencemaran sungai akibat akumulasi sampah telah menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang paling serius di wilayah perkotaan di Indonesia. Sungai tidak hanya berfungsi sebagai sumber air baku, sarana irigasi, dan penunjang aktivitas ekonomi masyarakat, tetapi juga memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Pertumbuhan jumlah penduduk yang pesat,

perkembangan industri, serta rendahnya kesadaran masyarakat terhadap pengelolaan sampah yang baik telah menyebabkan peningkatan jumlah sampah yang dibuang ke badan sungai setiap tahunnya. Kondisi tersebut mengakibatkan penurunan kualitas air, terganggunya ekosistem perairan, meningkatnya risiko banjir akibat tersumbatnya aliran sungai, serta munculnya berbagai permasalahan lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Salah satu sungai yang mengalami permasalahan lingkungan tersebut adalah Sungai Deli yang melintasi Kabupaten Karo, Kabupaten Deli Serdang, dan Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara. Sungai Deli merupakan salah satu sumber air yang penting bagi masyarakat Kota Medan. Namun demikian, berbagai penelitian menunjukkan bahwa Sungai Deli telah mengalami pencemaran yang cukup berat akibat limbah domestik, limbah industri, serta akumulasi sampah organik dan anorganik. Kondisi pencemaran tersebut ditunjukkan oleh tingginya nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), keberadaan logam berat dan mikroplastik, serta meningkatnya jumlah bakteri patogen yang ditemukan pada beberapa titik di sepanjang aliran sungai. Selain menurunkan kualitas air, keberadaan sampah yang mengapung di permukaan sungai juga mengurangi nilai estetika lingkungan serta menghambat aliran air.

Saat ini, kegiatan pemantauan kondisi sungai masih didominasi oleh metode observasi lapangan secara manual. Metode tersebut membutuhkan waktu yang cukup lama, biaya operasional yang tinggi, serta sumber daya manusia yang tidak sedikit, sehingga proses identifikasi jenis sampah menjadi kurang efisien. Selain itu, pemantauan secara manual juga sulit dilakukan secara berkala pada wilayah sungai yang memiliki cakupan area yang luas. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem otomatis yang mampu mendeteksi berbagai jenis sampah secara cepat, akurat, dan efisien.

Perkembangan teknologi *Artificial Intelligence* (AI), khususnya *Deep Learning*, telah memberikan solusi yang menjanjikan dalam mengatasi permasalahan tersebut. Salah satu metode *Deep Learning* yang paling banyak digunakan dalam pengolahan citra digital adalah *Convolutional Neural Network* (CNN). CNN memiliki kemampuan untuk mengekstraksi fitur-fitur visual dari suatu citra secara otomatis tanpa memerlukan proses ekstraksi fitur secara manual. Berbagai penelitian telah membuktikan bahwa CNN memiliki kinerja yang sangat baik dalam berbagai tugas klasifikasi citra, seperti deteksi penyakit tanaman, pengenalan objek, pengenalan wajah, serta klasifikasi sampah.

Beberapa penelitian terdahulu telah berhasil menerapkan CNN untuk klasifikasi sampah. Kartiko Mustafi dkk. (2022) mengembangkan sistem klasifikasi sampah berbasis CNN yang mampu mencapai tingkat akurasi klasifikasi yang tinggi. Demikian pula, Fathoni Dwiatmoko dkk. (2022) menggunakan CNN untuk mengklasifikasikan sampah organik dan anorganik dengan memanfaatkan dataset publik dan memperoleh performa klasifikasi yang memuaskan. Selain itu, Rizky Theofilus dan Robert Kurniawan (2024) menerapkan CNN yang dipadukan dengan algoritma YOLOv8 untuk mendeteksi sampah yang mengapung di permukaan Sungai Ciliwung.

Meskipun demikian, penelitian-penelitian sebelumnya masih memiliki beberapa keterbatasan. Sebagian besar penelitian menggunakan dataset publik atau citra yang diperoleh dari internet sehingga belum sepenuhnya mampu merepresentasikan kondisi lingkungan yang sebenarnya. Variasi pencahayaan, kondisi cuaca, pantulan permukaan air, serta karakteristik sampah yang beragam di sungai belum banyak diakomodasi. Selain itu, beberapa penelitian lebih berfokus pada proses deteksi objek tanpa melakukan klasifikasi sampah ke dalam kategori organik dan anorganik berdasarkan citra yang diperoleh secara langsung dari lingkungan sungai.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem klasifikasi berbasis citra untuk membedakan sampah organik dan anorganik di permukaan Sungai Deli menggunakan metode *Convolutional Neural Network* dengan arsitektur MobileNetV2. MobileNetV2 dipilih karena memiliki arsitektur yang ringan dengan jumlah parameter yang lebih sedikit dibandingkan model CNN konvensional, sehingga mampu menghasilkan proses komputasi yang lebih cepat tanpa mengurangi performa klasifikasi secara signifikan. Dataset yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh secara langsung menggunakan kamera yang dipasang pada drone sehingga mampu menghasilkan citra beresolusi tinggi dengan cakupan area pengamatan yang lebih luas dibandingkan kamera konvensional. Selanjutnya, citra yang diperoleh diproses melalui tahapan *preprocessing*, augmentasi data, pelatihan model, serta evaluasi menggunakan *confusion matrix* berdasarkan metrik akurasi, *precision*, *recall*, dan *F1-score*.

Nilai kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada penggunaan dataset primer yang diperoleh secara langsung dari Sungai Deli melalui citra drone, sehingga dataset yang dihasilkan lebih mampu merepresentasikan kondisi lingkungan yang sebenarnya dibandingkan penelitian terdahulu yang sebagian besar menggunakan dataset publik. Selain itu, penelitian ini mengembangkan sistem klasifikasi biner untuk membedakan sampah organik dan anorganik menggunakan arsitektur MobileNetV2, kemudian mengintegrasikan model yang telah dilatih ke dalam aplikasi berbasis web untuk mendukung proses pemantauan kondisi sungai secara otomatis. Pendekatan terintegrasi ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pemantauan pencemaran sungai sekaligus menjadi sistem pendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan.

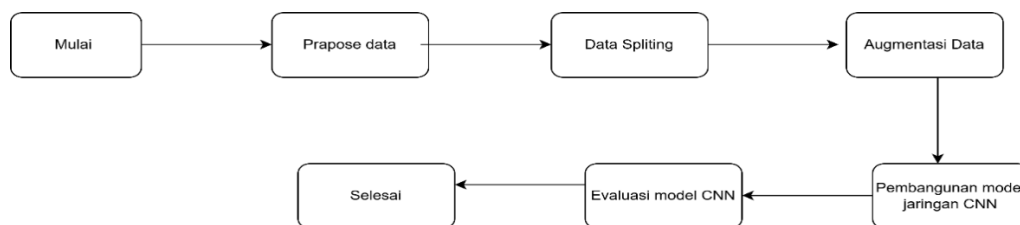
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan model klasifikasi berbasis *Convolutional Neural Network* dengan arsitektur MobileNetV2 yang mampu mengklasifikasikan sampah organik dan anorganik di permukaan Sungai Deli secara akurat serta mengimplementasikan model tersebut ke dalam sistem pemantauan berbasis web untuk mendukung proses pemantauan pencemaran sungai secara otomatis.

2. METHOD

Penelitian ini menggunakan **metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimen (experimental research)**. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian berfokus pada pengukuran kinerja model klasifikasi berdasarkan nilai numerik, seperti *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *F1-score*. Sementara itu, pendekatan eksperimen diterapkan melalui pembangunan, pelatihan, dan pengujian model *Convolutional Neural Network* (CNN) menggunakan arsitektur **MobileNetV2** untuk mengklasifikasikan sampah organik dan anorganik pada citra permukaan Sungai Deli.

Metode CNN-MobileNetV2 dipilih karena merupakan salah satu algoritma *Deep Learning* yang mampu melakukan ekstraksi fitur citra secara otomatis (*automatic feature extraction*) dengan jumlah parameter yang relatif sedikit dibandingkan arsitektur CNN konvensional. Karakteristik tersebut menjadikan MobileNetV2 lebih efisien dari sisi komputasi namun tetap mampu menghasilkan tingkat akurasi klasifikasi yang tinggi pada perangkat dengan sumber daya terbatas.

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis, dimulai dari studi literatur, pengumpulan data citra menggunakan kamera drone, pelabelan data, *preprocessing*, augmentasi citra, pembagian dataset menjadi data latih dan data uji, pelatihan model CNN-MobileNetV2, evaluasi menggunakan *confusion matrix*, hingga implementasi model ke dalam aplikasi berbasis web. Alur penelitian tersebut disajikan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 2.1. Alur Penelitian

2.1 Studi Kasus dan Sumber Data

Studi kasus pada penelitian ini dilakukan pada Sungai Deli, Kota Medan, Sumatera Utara, yang merupakan salah satu sungai dengan tingkat pencemaran cukup tinggi akibat aktivitas domestik, industri, dan pembuangan sampah masyarakat. Fokus penelitian adalah melakukan klasifikasi sampah yang mengapung di permukaan sungai menjadi dua kategori, yaitu sampah organik dan sampah anorganik.

Data yang digunakan merupakan data primer, yaitu data yang diperoleh secara langsung melalui proses akuisisi citra menggunakan kamera drone. Pengambilan data dilakukan pada beberapa titik di sepanjang aliran Sungai Deli, khususnya di kawasan Jalan Glugur dan Jalan Sekata. Penggunaan drone dipilih karena mampu menghasilkan citra beresolusi tinggi dengan cakupan area pengamatan yang lebih luas dibandingkan metode pengambilan gambar menggunakan kamera konvensional.

Sebanyak 300 citra berhasil dikumpulkan selama proses akuisisi data. Seluruh citra kemudian diberi

label secara manual berdasarkan kategori sampah yang tampak pada citra. Sampah organik, seperti daun, ranting, dan sisa tumbuhan, diberi label 0, sedangkan sampah anorganik, seperti plastik, botol, kaleng, dan styrofoam, diberi label 1. Proses pelabelan dilakukan berdasarkan karakteristik visual masing-masing objek agar data yang digunakan pada proses pelatihan memiliki kualitas yang baik.

3. RESULT DAN ANALISIS

3.1. Hasil Pengumpulan Dataset

Pada penelitian ini, dataset diperoleh melalui proses akuisisi citra secara langsung menggunakan kamera drone di kawasan Sungai Deli, Kota Medan. Pengambilan data dilakukan pada beberapa titik yang memiliki konsentrasi sampah cukup tinggi sehingga mampu merepresentasikan kondisi nyata di lapangan. Penggunaan drone memungkinkan proses pengambilan citra dilakukan dengan cakupan area yang lebih luas serta menghasilkan gambar beresolusi tinggi.

Dataset yang berhasil dikumpulkan terdiri atas 300 citra, yang kemudian dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu sampah organik dan sampah anorganik. Seluruh citra diberi label secara manual berdasarkan karakteristik objek yang terlihat pada gambar sebelum digunakan dalam proses pelatihan model.

Tabel 3.1 Karakteristik Dataset

Parameter	Nilai
Jumlah citra	300
Organik	150
Anorganik	150
Format	JPG
Resolusi	224 × 224 piksel

Tahap pengumpulan data yang dilakukan secara langsung memberikan keuntungan karena kondisi pencahayaan, posisi objek, bayangan, serta pantulan permukaan air sesuai dengan kondisi sebenarnya sehingga model memiliki kemampuan generalisasi yang lebih baik.

3.2. Hasil Preprocessing dan Augmentasi Data

Sebelum proses pelatihan dilakukan, seluruh citra melalui tahap preprocessing. Tahapan ini bertujuan untuk menghasilkan dataset yang seragam sehingga dapat diproses oleh model MobileNetV2. Tahapan preprocessing meliputi:

1. Resize citra menjadi 224 × 224 piksel.
2. Normalisasi nilai piksel.
3. Konversi format citra.
4. Pelabelan dataset.

Selanjutnya dilakukan augmentasi data menggunakan beberapa teknik, yaitu:

1. Horizontal Flip.
2. Vertical Flip.
3. Random Rotation.
4. Random Brightness

Augmentasi dilakukan untuk meningkatkan variasi data sehingga model tidak mengalami overfitting. Hasil augmentasi gambar. Tabel 3.2 menunjukkan hasil augmentasi pada gambar.

Tabel 3.2 Hasil augmentasi gambar

Operator	Original	Hasil
Random Brightness		
Vertical Flip		
Horizontal Flip		

Operator	Original	Hasil
Random Rotation		

Hasil preprocessing menghasilkan dataset yang lebih konsisten, sedangkan augmentasi meningkatkan keragaman citra sehingga proses pembelajaran model menjadi lebih optimal.

3.3. Hasil Pelatihan Model MobileNetV2

Model CNN menggunakan arsitektur MobileNetV2 dilatih menggunakan dataset yang telah diproses sebelumnya. Proses pelatihan dilakukan dengan parameter sebagai berikut.

Tabel 3.3 Parameter Pelatihan

Parameter	Nilai
Epoch	30
Batch Size	32
Optimizer	Adam
Learning Rate	0,001
Loss Function	Binary Crossentropy
Activation	Softmax

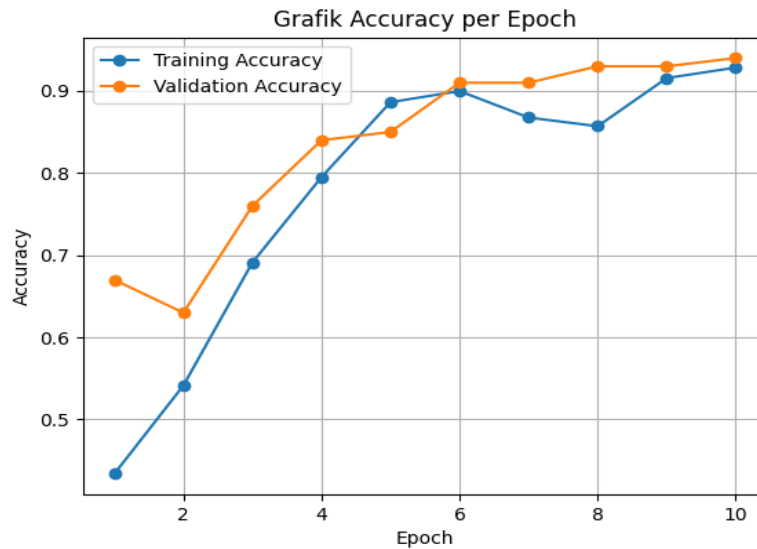
Kinerja model CNN dievaluasi menggunakan metrik akurasi dan loss pada data pelatihan serta validasi selama 10 epoch. Hasil evaluasi digunakan untuk menganalisis perkembangan performa model dan kemampuannya dalam melakukan generalisasi tanpa mengalami overfitting.

Tabel 3.4. Training dan validation accuracy 10 epoch

Epoch	Accuracy	Loss	Val Accuracy	Val Loss	Waktu (s)
1	0.4338	0.9787	0.67	0.6415	19
2	0.5413	0.6734	0.63	0.6305	8
3	0.6911	0.598	0.76	0.5284	8
4	0.795	0.5252	0.84	0.4767	8
5	0.8863	0.4509	0.85	0.4365	9
6	0.8998	0.4164	0.91	0.3914	8
7	0.8676	0.4253	0.91	0.3609	9
8	0.857	0.4049	0.93	0.332	9
9	0.9156	0.3506	0.93	0.3094	8
10	0.9284	0.3032	0.94	0.2888	8

Representasi visual dari hasil pelatihan disajikan melalui grafik yang menunjukkan fluktuasi nilai akurasi dan *loss* pada setiap *epoch*. Performa model tersebut, baik dari aspek peningkatan akurasi maupun penurunan *loss*, dapat diamati pada gambar berikut:

Training Accuracy per Epoch

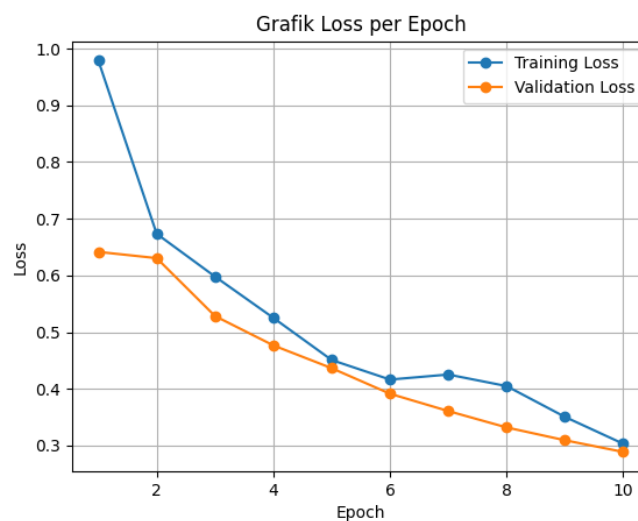


Gambar 3.2 Grafik Hasil Training Accuracy

Sumber: Dokumentasi Penelitian 2025

Grafik tersebut menunjukkan adanya peningkatan akurasi secara bertahap selama proses pelatihan. Akurasi awal sebesar 0,4338 pada epoch pertama terus mengalami kenaikan hingga mencapai 0,9284 pada epoch ke-10. Hasil ini menunjukkan bahwa model mampu mempelajari dan mengenali pola pada data pelatihan dengan semakin baik seiring bertambahnya epoch. Grafik *training loss* per epoch menunjukkan penurunan nilai *loss* yang signifikan, dari 0,9787 pada epoch pertama hingga mencapai 0,3032 pada epoch ke-10. Penurunan ini menandakan bahwa kesalahan prediksi model selama pelatihan semakin berkurang. Nilai *loss* yang rendah dan relatif stabil pada epoch-epoch akhir menunjukkan bahwa model telah mencapai kondisi yang stabil dan tidak mengalami overfitting terhadap data pelatihan.

Training Loss per Epoch



Gambar 3.3 Grafik Hasil Training Loss

Sumber: Dokumentasi Penelitian 2025

Analisis terhadap kedua grafik tersebut mengonfirmasi bahwa model CNN telah melakukan proses pembelajaran secara efektif menggunakan dataset latih. Pencapaian tingkat akurasi yang tinggi serta minimalisasi nilai loss menjadi indikator kuat bahwa model memiliki kesiapan untuk dievaluasi lebih lanjut menggunakan data uji. Hasil ini sekaligus menegaskan keberhasilan fase pelatihan dalam menghasilkan model klasifikasi yang memiliki reliabilitas tinggi.

3.4. Hasil Pengujian Model

Semua hasil evaluasi klasifikasi dihitung berdasarkan *confusion matrix* yang terdiri dari :

Tabel 3.5. *Contingency* Tabel

Prediksi	Positif	Negatif
Positif (TP)	<i>True Positif (TP)</i>	<i>False Positif (FP)</i>
Negatif (TN)	<i>True Negatif (TN)</i>	<i>False Negatif (FN)</i>

Berdasarkan hasil evaluasi melalui *confusion matrix*, diperoleh rincian sebagai berikut :

1. True Negative (TN) = 35
2. False Positive (FP) = 5
3. False Negative (FN) = 1
4. True Positive (TP) = 59

Confusion Matriks digunakan untuk menunjukkan performa model dalam melakukan klasifikasi terhadap kelas sampah anorganik dan sampah organik. Yang dibuat dengan menghasilkan akurasi sebesar 94% .

$$\text{Akurasi} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} = \frac{59+35}{59+35+5+1} = 0.94$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} = \frac{59}{59+5} = 0.9218$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} = \frac{59}{59+1} = 0.9833$$

$$F1 - Score = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{recall}}{\text{Precision} + \text{recall}}$$

$$= 2 \times \frac{0.9218 \times 0.9833}{0.9218 + 0.9833} = 2 \times \frac{0.9302 \times 0.9523}{0.9302 + 0.9523} = 0.9523$$

Tabel 3.6. Classification Report model

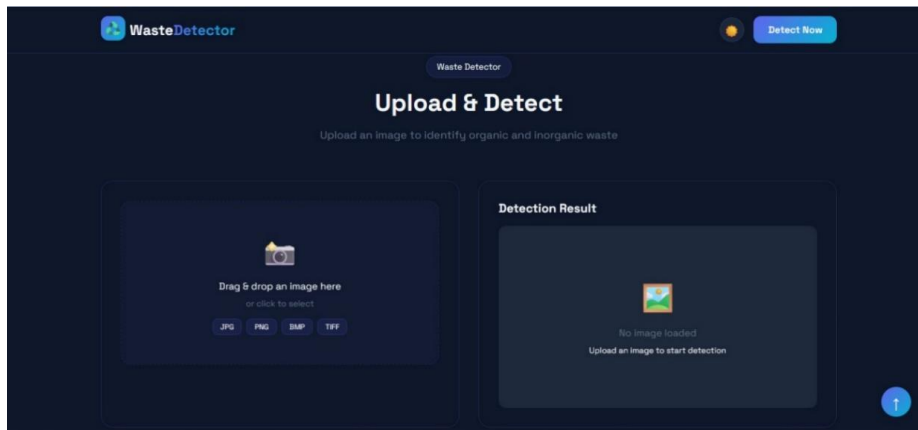
	<i>Precision</i>	<i>Recall</i>	<i>F1-score</i>
Anorganik	0.97	0.88	0.92
Organik	0.92	0.98	0.95
Akurasi			0.94
<i>Macro Avg</i>	0.95	0.93	0.94
<i>Weighted Avg</i>	0.94	0.94	0.94

Hasil evaluasi menunjukkan akurasi model sebesar 94%. Nilai *precision* dan *recall* pada kelas organik cukup tinggi dan seimbang, sehingga model dapat mengenali gambar dengan kelas anorganik dan organik dengan baik. Pada kelas anorganik, nilai *precision* 0.97 dan *recall* 0.88 menunjukkan kinerja yang masih stabil meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan pada kelas organik.

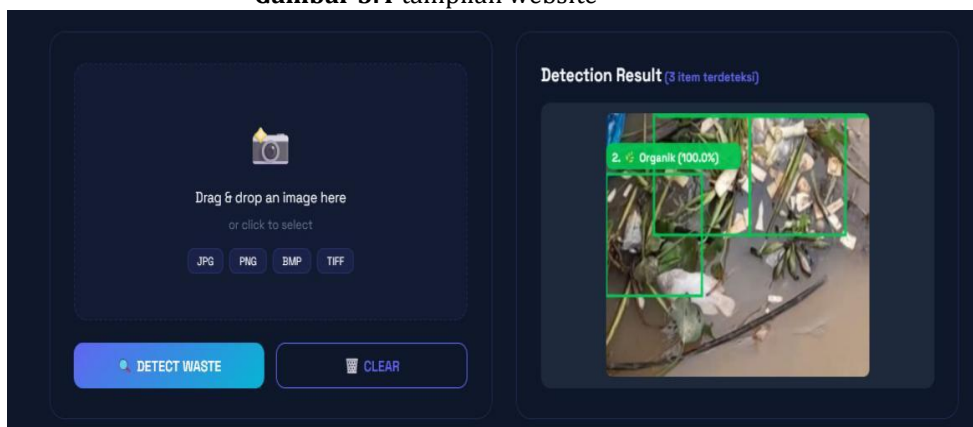
3.5. Implementasi Sistem

Model terbaik kemudian diimplementasikan pada aplikasi berbasis web.

Terdapat 1 halaman utama yang dirancang pada penelitian ini, yaitu halaman utama yang dimana menampilkan : upload gambar, preview gambar, dan ringkasan deteksi. kerja sistem diawali saat pengguna mengunggah citra sampah melalui antarmuka berbasis web.

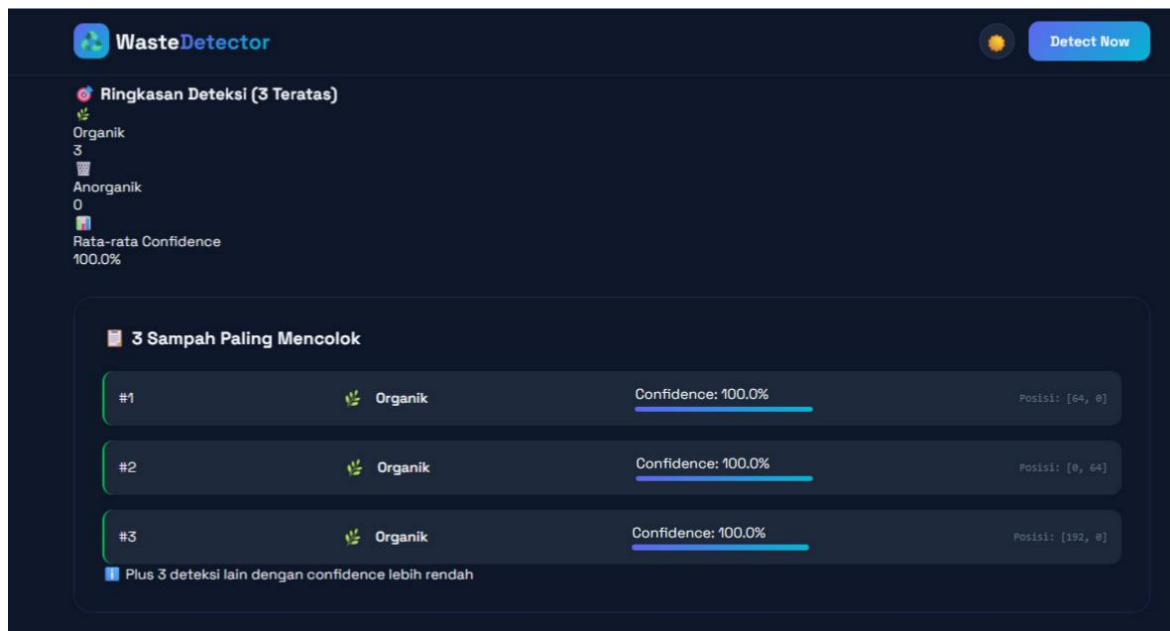


Gambar 3.4 tampilan website



Gambar 3.5 tampilan hasil

Proses klasifikasi dimulai dengan mengunggah citra ke sistem, dilanjutkan dengan tahap praproses berupa resizing, normalisasi, dan konversi RGB. Selanjutnya, citra diproses menggunakan model CNN untuk menghasilkan label kategori sampah beserta nilai confidence yang ditampilkan pada antarmuka web.



Gambar 3.6 ringkasan deteksi

Halaman ringkasan deteksi menyajikan hasil analisis dalam bentuk yang lebih ringkas dan terstruktur. Informasi yang ditampilkan meliputi :

Jumlah organik, jumlah sampah anorganik, dan nilai rata-rata confidence.

Selain itu, ditampilkan juga tiga objek dengan Tingkat kepercayaan tertinggi (top detections) lengkap dengan kategori, nilai confidence, dan posisi objek. Halaman ini membantu pengguna dalam memahami kondisi sampah secara keseluruhan pada citra yang dianalisis.

4. DISCUSSION

4.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model klasifikasi sampah organik dan anorganik di permukaan Sungai Deli menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) dengan arsitektur MobileNetV2 serta mengimplementasikan model tersebut ke dalam aplikasi berbasis web sebagai media pemantauan kondisi sungai secara otomatis. Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, tujuan penelitian tersebut telah berhasil dicapai.

Proses penelitian diawali dengan pengumpulan dataset primer melalui akuisisi citra menggunakan kamera drone di kawasan Sungai Deli. Seluruh citra kemudian melalui tahapan *preprocessing*, pelabelan, augmentasi data, serta pembagian dataset menjadi data latih dan data uji. Selanjutnya, model MobileNetV2 dilatih menggunakan dataset yang telah dipersiapkan dan dievaluasi menggunakan *Confusion Matrix* berdasarkan metrik *Accuracy*, *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa model CNN dengan arsitektur MobileNetV2 mampu mengklasifikasikan sampah organik dan anorganik dengan tingkat performa yang tinggi. Hal ini membuktikan bahwa MobileNetV2 mampu melakukan ekstraksi fitur citra secara efektif meskipun memiliki kompleksitas komputasi yang lebih rendah dibandingkan arsitektur CNN konvensional. Selain itu, penggunaan dataset primer yang diperoleh langsung dari lingkungan Sungai Deli memberikan representasi kondisi nyata sehingga meningkatkan kemampuan model dalam melakukan klasifikasi terhadap variasi objek sampah di lapangan.

Implementasi model ke dalam aplikasi berbasis web juga berhasil dilakukan. Sistem yang dikembangkan mampu menerima citra masukan dari pengguna, melakukan proses klasifikasi secara otomatis, dan menampilkan hasil prediksi beserta kategori sampah yang terdeteksi. Dengan demikian, penelitian ini telah menghasilkan suatu sistem yang dapat mendukung proses pemantauan pencemaran sungai secara lebih cepat, efisien, dan objektif dibandingkan metode observasi manual.

Berdasarkan keseluruhan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa metode CNN dengan arsitektur MobileNetV2 merupakan pendekatan yang efektif untuk klasifikasi sampah organik dan anorganik pada citra permukaan sungai. Penerapan metode ini tidak hanya memberikan performa klasifikasi yang baik, tetapi juga berpotensi menjadi solusi teknologi dalam mendukung pengelolaan lingkungan dan pemantauan kualitas sungai secara berkelanjutan.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan dibagi ke dalam beberapa pihak sebagai berikut:

1. Peneliti selanjutnya disarankan untuk membandingkan performa beberapa arsitektur deep learning lainnya, seperti ResNet, EfficientNet, atau YOLO, guna memperoleh model dengan tingkat akurasi dan efisiensi yang lebih optimal.
2. Hasil deteksi dan pemetaan jenis sampah di Sungai Deli dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan program pembersihan sungai, penempatan fasilitas pengelolaan sampah, serta penyusunan kebijakan lingkungan yang lebih efektif.
3. Pemerintah Kota Medan diharapkan dapat memanfaatkan hasil penelitian ini sebagai bahan pertimbangan dalam pengembangan sistem pemantauan kebersihan Sungai Deli berbasis teknologi dan kecerdasan buatan.
4. Penelitian lanjutan juga dapat mengintegrasikan data visual dengan data kualitas air (misalnya BOD, COD, atau kekeruhan air) untuk memperoleh analisis kondisi Sungai Deli yang lebih menyeluruh.

ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Informatika, Universitas Negeri Medan, yang telah memberikan dukungan akademik dan fasilitas penelitian selama pelaksanaan studi ini. Penghargaan juga disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu proses pengumpulan data di sepanjang Sungai Deli serta memberikan masukan dan kontribusi yang berharga selama pengembangan dan evaluasi model klasifikasi CNN-MobileNetV2 yang diusulkan.

Penulis juga menyampaikan rasa terima kasih kepada para dosen pembimbing dan penelaah (reviewer) atas komentar, saran, dan masukan yang konstruktif sehingga dapat meningkatkan kualitas penelitian ini secara signifikan. Terakhir, penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada keluarga dan rekan-rekan atas dukungan, motivasi, serta semangat yang terus diberikan selama proses penyelesaian penelitian ini.

REFERENCES

- [1] H. G. Anggoro, Y. Fatma, Y. Rizki, and R. Firdaus, "Klasifikasi citra COVID-19 menggunakan metode deep learning (literature review)," *Jurnal Ilmiah*, vol. 8, no. 5, pp. 11049–11054, 2024.
- [2] A. Arnita, F. Marpaung, Z. A. Koemadji, M. Hidayat, A. Widiyanto, and F. Aulia, "Selection of food identification system features using convolutional neural network (CNN) method," *Scientific Journal of Informatics*, vol. 10, no. 2, pp. 205–216, 2023, doi: 10.15294/sji.v10i2.44059.
- [3] A. Arnita, M. Yani, F. Marpaung, M. Hidayat, and A. Widiyanto, "A comparative study of convolutional neural network and k-nearest neighbours algorithms for food image recognition," *Journal of Computational Technologies*, vol. 27, no. 6, pp. 88–99, 2022, doi: 10.25743/ICT.2022.27.6.008.
- [4] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep Learning*. MIT Press, 2016.
- [5] M. Harahap et al., "Deteksi penyakit COVID-19 pada citra X-ray dengan pendekatan convolutional neural network (CNN)," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 6, no. 1, pp. 70–77, 2022, doi: 10.29207/resti.v6i1.3373.
- [6] N. Husni, "Analisis permasalahan pengelolaan Sungai Deli," *Inovasi*, vol. 2, pp. 77–82, 2016.
- [7] D. I. S. Huta Julu and D. Nurdiah, "Klasifikasi sampah organik dan non-organik menggunakan transfer learning (MobileNetV2, VGG16, ResNet50V2)," *Jurnal Transformatika*, 2025.
- [8] I. G. A. Kadyanan, I. N. Artawan, and P. H. Juniawan, "Klasifikasi sampah berbasis convolutional neural networks (CNN)," *Jurnal Ilmu Komputer*, vol. 17, no. 2, 2024.
- [9] E. D. Madyatmadja, L. Kusumawati, S. P. Jamil, W. Kusumawardhana, and S. Informasi, "Infotech: Journal of Technology Information," *Infotech: Journal of Technology Information*, vol. 7, no. 1, pp. 55–62, 2022.
- [10] G. A. Mahliza and M. M. Nasution, "Penyuluhan dan pengembangan budaya sadar bersih sungai untuk peningkatan lingkungan bersih dan sehat," *Jurnal Masyarakat Mandiri*, vol. 7, no. 6, pp. 5737–5745, 2023, doi: 10.31764/jmm.v7i6.17874.
- [11] F. Marpaung, F. Aulia, and R. C. Nabila, *Computer Vision dan Pengolahan Citra Digital*. Yayasan Kita Menulis, 2022.
- [12] Z. I. Nugraha et al., "Implementasi algoritma CNN dalam pengembangan sistem klasifikasi sampah pada website," *Jurnal Manajemen Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 8, no. 1, 2024.
- [13] M. E. Purba et al., "Klasifikasi sampah organik dan anorganik menggunakan algoritma convolutional neural network (CNN)," *Jurnal SIFO Mikroskil*, vol. 26, no. 1, 2025.
- [14] E. Rasywir, R. Sinaga, and Y. Pratama, "Analisis dan implementasi diagnosis penyakit sawit dengan metode convolutional neural network (CNN)," *Paradigma: Jurnal Komputer dan Informatika*, vol. 22, no. 2, pp. 117–123, 2021, doi: 10.31294/p.v22i2.8907.
- [15] J. N. Raya et al., "Evaluasi kinerja model klasifikasi pembelian," *Prosiding atau Jurnal*, pp. 388–390, 2025.
- [16] V. Verdy and E. Hartati, "Klasifikasi penyakit mata menggunakan convolutional neural network model ResNet-50," *Jurnal Rekayasa Sistem Informasi dan Teknologi*, vol. 1, no. 3, pp. 199–206, 2024, doi: 10.59407/jrsit.v1i3.529.
- [17] G. A. Bahagia and M. Akbar, "Klasifikasi sampah organik dan anorganik menggunakan metode CNN," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 8, no. 5, 2024.
- [18] I. G. A. Kadyanan, I. N. Artawan, and P. H. Juniawan, "Klasifikasi sampah berbasis convolutional neural networks (CNN)," *Jurnal Ilmu Komputer*, vol. 17, no. 2, 2024.