

# INTEGRASI MOBILENETV2 DAN RANDOM FOREST UNTUK SISTEM KECERDASAN BUATAN KLASIFIKASI CITRA SAMPAH

Rizal Wahyu Ramadhan<sup>1</sup>, Muhammad Adibul Khoir<sup>2</sup>, Muhammad Faseh Maulana Khasanuddin<sup>3</sup>,  
Muh Maulana Shidiq<sup>4</sup>, Nunung Hidayatun<sup>5</sup>, Muhammad Muharrom<sup>6</sup>

Universitas Bina Sarana Informatika

Jl. Cut Mutia No.88, Sepanjang Jaya, Kec. Rawalumbu, Kota Bekasi, Jawa Barat 17113

e-mail: rizalwahyuramadhan300@gmail.com<sup>1</sup>, muhammadadibulkhoir@gmail.com<sup>2</sup>,  
muhammadfasehkhassannudin5@gmail.com<sup>3</sup>, mmaulanashidiq52@gmail.com<sup>4</sup>, nunung.ntn@bsi.ac.id<sup>5</sup>,  
muhammad.muu@bsi.ac.id<sup>6</sup>

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem kecerdasan buatan yang mampu melakukan klasifikasi citra sampah secara otomatis dengan menggunakan dataset yang bersumber dari Kaggle dan mengintegrasikan model MobileNetV2 dan algoritma Random Forest. Dataset terdiri dari dua kategori utama, yaitu sampah organik dan recyclable (anorganik). Setiap citra diproses melalui tahap prapengolahan, ekstraksi fitur menggunakan MobileNetV2, dan klasifikasi akhir menggunakan Random Forest. Implementasi dilakukan di Google Colab dengan antarmuka berbasis Gradio agar pengguna dapat mengunggah citra dan memperoleh hasil klasifikasi secara langsung. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi sebesar 96%. Untuk kelas organik, model menghasilkan nilai precision 87%, recall 98%, dan F1-score 92%, sedangkan untuk kelas recyclable diperoleh nilai precision 97%, recall 82%, dan F1-score 89%. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi MobileNetV2 dan Random Forest mampu memberikan performa klasifikasi yang stabil dan akurat terhadap variasi pencahayaan serta latar belakang citra, sehingga berpotensi mendukung penerapan sistem smart waste management.

**Kata kunci:** Kecerdasan Buatan, Machine Learning, MobileNetV2, Random Forest, Pengolahan Citra

## Abstract

*This study aims to develop an artificial intelligence system capable of automatically classifying waste images by integrating the MobileNetV2 model and the Random Forest algorithm. The dataset consists of two main categories: organic and recyclable waste. Each image undergoes preprocessing, feature extraction using MobileNetV2, and classification using Random Forest. The system was implemented in Google Colab with a Gradio-based interface to allow users to upload images and obtain real-time classification results. Experimental results show an overall accuracy of 96%. For the organic class, the model achieved a precision of 87%, recall of 98%, and F1-score of 92%, while for the recyclable class, it obtained a precision of 97%, recall of 82%, and F1-score of 89%. These results indicate that the integration of MobileNetV2 and Random Forest provides stable and accurate classification performance under various lighting and background conditions, supporting its application in smart waste management systems.*

**Keywords:** Artificial Intelligence, Machine Learning, MobileNetV2, Random Forest, Image Processing

## 1. PENDAHULUAN

Limbah merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang semakin kompleks, terutama di kawasan perkotaan dengan tingkat kepadatan penduduk tinggi dan aktivitas konsumsi yang intens. Proses pemilahan dan pengelolaan limbah yang masih dilakukan secara manual membutuhkan waktu lama dan sangat bergantung pada tenaga kerja manusia [1]. Ketidakefisienan dalam proses ini sering kali mengakibatkan peningkatan volume sampah di tempat pembuangan akhir serta pencemaran lingkungan yang berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan inovasi berbasis teknologi yang mampu mendukung proses klasifikasi dan pengelolaan sampah secara otomatis, cepat, dan akurat [2]. Salah satu solusi yang banyak dikembangkan adalah penerapan kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) di bidang pengolahan citra

digital (image processing) dan pembelajaran mesin (machine learning) [3]. Teknologi ini memungkinkan sistem untuk dilatih dalam mengenali dan mengklasifikasikan jenis sampah berdasarkan karakteristik visual yang dimilikinya.

Dalam konteks klasifikasi citra, Convolutional Neural Network (CNN) telah banyak digunakan karena kemampuannya dalam mengekstraksi fitur visual secara otomatis dengan tingkat akurasi yang tinggi [4]. Namun, penggunaan CNN secara end-to-end sering kali kurang stabil ketika dihadapkan pada variasi pencahayaan, latar belakang, dan bentuk objek yang tidak seragam [5]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini memanfaatkan MobileNetV2 sebagai ekstraktor fitur. MobileNetV2 memiliki arsitektur ringan dan efisien yang menggunakan depthwise separable convolution serta inverted residual block, sehingga mampu menghasilkan fitur yang representatif dengan kebutuhan komputasi yang rendah [6][7].

Pada tahap klasifikasi, penelitian ini menerapkan algoritma Random Forest untuk melakukan klasifikasi citra sampah ke dalam dua kelas utama, yaitu sampah organik (O) dan sampah anorganik atau recyclable (R). Random Forest dipilih karena kemampuannya dalam menggabungkan banyak pohon keputusan sehingga menghasilkan model klasifikasi yang stabil dan tahan terhadap overfitting [8]. Klasifikasi sampah organik (O) mencakup jenis sampah yang berasal dari bahan alami dan mudah terurai secara biologis, seperti sisa makanan, daun, buah-buahan, serta limbah organik rumah tangga lainnya. Sementara itu, klasifikasi sampah anorganik atau recyclable (R) meliputi sampah yang berasal dari bahan non-alami dan dapat didaur ulang, seperti plastik, botol, kaleng logam, dan kemasan berbahan sintetis. Pembagian kelas ini dilakukan untuk mendukung proses pemilahan sampah yang lebih efektif dalam sistem pengelolaan sampah cerdas.

Integrasi antara MobileNetV2 dan Random Forest dilakukan karena keduanya memiliki karakteristik yang saling melengkapi. MobileNetV2 berperan dalam mengekstraksi fitur visual citra secara efisien, sedangkan Random Forest bertugas mengklasifikasikan hasil ekstraksi tersebut ke dalam kelas sampah organik dan recyclable dengan stabilitas yang tinggi [9]. Pendekatan integratif ini dinilai mampu meningkatkan akurasi dan konsistensi hasil klasifikasi citra sampah berbasis kecerdasan buatan [10].

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan eksperimen kuantitatif yang menerapkan integrasi **MobileNetV2** sebagai ekstraktor fitur dan **Random Forest** sebagai algoritma klasifikasi untuk citra sampah. Pendekatan ini digunakan untuk menghasilkan model klasifikasi yang akurat, efisien, dan adaptif terhadap variasi citra.

### 2.1. Diagram Alur Penelitian

Diagram alur penelitian pada Gambar 1 disusun berdasarkan rancangan penulis yang disesuaikan dengan kebutuhan penelitian klasifikasi citra sampah berbasis kecerdasan buatan. Alur ini merupakan adaptasi dari tahapan umum penelitian *machine learning* dan *deep learning*, yang meliputi pengumpulan data, prapemrosesan citra, ekstraksi fitur, klasifikasi, evaluasi, dan implementasi sistem. Setiap tahap dilakukan secara berurutan dan saling berkaitan untuk memastikan performa model yang optimal [2]. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan dataset dari Kaggle dan data lokal, praproses citra (resize dan normalisasi), ekstraksi fitur menggunakan MobileNetV2, klasifikasi menggunakan Random Forest, evaluasi dengan metrik akurasi, precision, recall, dan F1-score, serta implementasi sistem berbasis Gradio. Alur ini dirancang secara sederhana agar mudah dipahami dan direplikasi pada penelitian sejenis.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

## 2.2. Dataset

Dataset yang digunakan diambil dari [www.kaggle.com](http://www.kaggle.com) dan ditambahkan dengan data yang dibangun sendiri sudah termasuk dari data train dan test dari sampah lokal Indonesia sehingga terdapat 25.077 citra sampah. Preprocessing dilakukan untuk menyamakan semua ukuran citra menjadi 224×224 dengan metode interpolasi nearest. Kemudian dilakukan pemisahan dataset menjadi dua bagian yaitu dataset untuk training dan dataset untuk testing. Dataset dipisahkan pada rasio 10%, artinya terpisah menjadi 2.513 citra uji (testing) dan 22.564 citra latih (training), seperti terlihat pada Tabel

Tabel 1. Jenis data Train dan Test

| Jenis Data   | Kelas     | Jumlah Citra  | Deskripsi             |
|--------------|-----------|---------------|-----------------------|
| TRAIN        | Organik   | 12.565        | Daun, makanan, buah   |
|              | Anorganik | 9.999         | Plastik, botol, logam |
| TEST         | Organik   | 1.401         | Daun, makanan, buah   |
|              | Anorganik | 1.112         | Plastik, botol, logam |
| <b>Total</b> |           | <b>25.077</b> |                       |

Visualisasi dataset citra sampah disajikan dalam bentuk tabel yang memperlihatkan contoh citra dari dua kelas utama, yaitu sampah organik dan anorganik. Dari visualisasi tersebut terlihat bahwa citra sampah memiliki variasi yang tinggi dari segi bentuk, warna, dan tekstur objek. Perbedaan karakteristik visual antar kelas ini menjadi tantangan tersendiri dalam proses klasifikasi citra dan menegaskan pentingnya penggunaan metode ekstraksi fitur yang mampu merepresentasikan keragaman objek secara optimal.



Gambar 2. Citra Sampah Organik Dan Anorganik

## 2.3. Parameter Penelitian

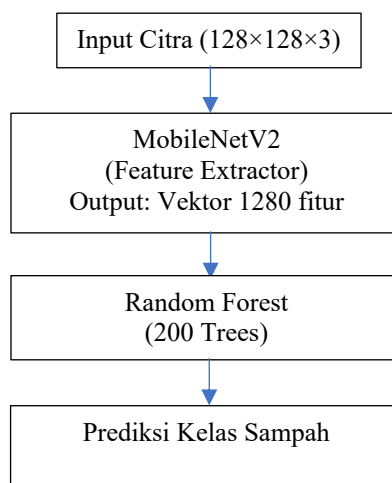
Parameter penelitian digunakan untuk mengatur proses ekstraksi fitur dan klasifikasi citra agar berjalan secara konsisten dan optimal. Parameter ini mencakup pengaturan ukuran input citra, konfigurasi model **MobileNetV2** sebagai ekstraktor fitur, serta pengaturan algoritma Random Forest sebagai pengklasifikasi. Pemilihan nilai parameter disesuaikan dengan kebutuhan sistem untuk menjaga keseimbangan antara akurasi, stabilitas model, dan efisiensi komputasi. Rincian parameter yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Penelitian

| Parameter         | Nilai                  | Keterangan                             |
|-------------------|------------------------|--|
| Ukuran Input      | 224×224                | Resolusi citra setelah resize          |
| Model Ekstraktor  | MobileNetV2 (ImageNet) | Model pretrained untuk ekstraksi fitur |
| include_top       | False                  | Layer fully connected dihapus          |
| pooling           | avg                    | Rata-rata spasial fitur                |
| n_estimators (RF) | 200                    | Jumlah pohon keputusan Random Forest   |
| class_weight      | balanced               | Penyeimbang kelas agar tidak bias      |
| random_state      | 42                     | Reproduksibilitas hasil                |

#### 2.4. Arsitektur Model

Arsitektur model penelitian ini terdiri dari dua tahap utama, yaitu ekstraksi fitur dan klasifikasi. Citra sampah berukuran  $128 \times 128 \times 3$  diproses menggunakan **MobileNetV2** untuk menghasilkan vektor fitur berdimensi 1280, yang selanjutnya diklasifikasikan menggunakan algoritma Random Forest dengan 200 pohon keputusan untuk menentukan kelas sampah.



Gambar 3. Diagram arsitektur model penelitian

#### 2.5. Metode Pengembangan Sistem

Metode pengembangan sistem yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada pendekatan Prototyping Model, karena sistem dikembangkan secara iteratif mulai dari rancangan model, pelatihan, pengujian, hingga implementasi antarmuka pengguna. Tahapan pengembangan sistem adalah sebagai berikut:

1. Analisis kebutuhan sistem, mencakup identifikasi jenis sampah dan parameter yang dibutuhkan untuk klasifikasi.
2. Perancangan arsitektur sistem, yaitu menentukan modul *feature extractor* (MobileNetV2), *classifier* (Random Forest), dan modul antarmuka pengguna (Gradio).
3. Pembuatan prototipe sistem, dengan implementasi menggunakan Python dan framework TensorFlow, scikit-learn, serta Gradio.
4. Pengujian dan evaluasi prototipe, untuk mengukur akurasi serta stabilitas sistem terhadap variasi citra uji.
5. Penyempurnaan sistem, dilakukan berdasarkan hasil evaluasi untuk meningkatkan akurasi dan kecepatan inferensi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Integrasi antara MobileNetV2 dan Random Forest dilakukan karena kedua metode memiliki karakteristik yang saling melengkapi. MobileNetV2 bertanggung jawab dalam menghasilkan representasi fitur visual yang kaya dan kompak, sementara Random Forest bertugas melakukan klasifikasi berdasarkan fitur tersebut dengan stabilitas tinggi dan ketahanan terhadap noise. Kombinasi keduanya telah terbukti efektif dalam berbagai penelitian untuk meningkatkan akurasi klasifikasi citra hingga di atas 90% [2][7]. Oleh karena itu, pendekatan integratif ini diharapkan mampu menghasilkan sistem klasifikasi citra sampah yang lebih akurat, efisien, dan adaptif terhadap variasi pencahayaan serta latar belakang citra. Penelitian ini mengimplementasikan kombinasi antara MobileNetV2 sebagai model ekstraksi fitur (*feature extractor*) dan Random Forest sebagai algoritma klasifikasi (*classifier*) untuk mengelompokkan citra sampah ke dalam dua kategori, yaitu organik (O) dan anorganik atau recyclable (R). Integrasi kedua metode ini dilakukan untuk memperoleh performa klasifikasi yang optimal dengan tetap mempertahankan efisiensi komputasi

#### 3.1. Hasil Evaluasi

```
Class weight dict: {0: 0.8978909669717469, 1: 1.1283128312831283}
Acc: 0.9112614405093514
      precision    recall  f1-score   support

    0       0.87       0.98       0.92       1401
    1       0.97       0.82       0.89       1112

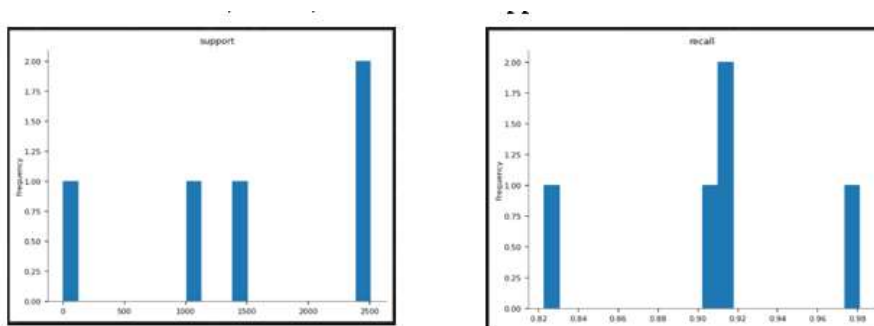
 accuracy          0.91       2513
 macro avg       0.92       0.90       0.91       2513
weighted avg       0.92       0.91       0.91       2513

[[1375  26]
 [ 197 915]]
['/content/drive/MyDrive/random_forest_mobilenetv2.joblib']
```

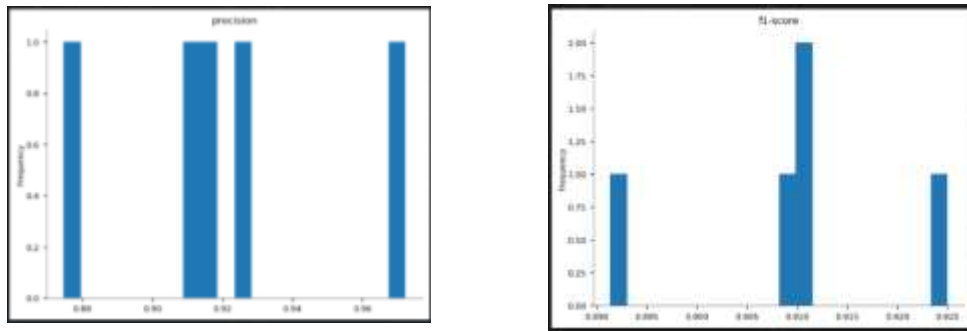
Gambar 4. Hasil dari random forest

Hasil menunjukkan bahwa integrasi MobileNetV2 (sebagai feature extractor) dan Random Forest (sebagai classifier) mampu memberikan performa yang baik dengan akurasi di atas 90%. Model ini menunjukkan potensi yang tinggi untuk digunakan dalam sistem kecerdasan buatan klasifikasi citra sampah, terutama dalam membedakan jenis sampah organik (O) dan recyclable (R) secara otomatis. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa pada kelas organik (O), model menghasilkan nilai precision 0,87, recall 0,98, dan F1-score 0,92, yang menandakan kemampuan model dalam mengenali hampir seluruh citra sampah organik dengan tingkat kesalahan yang rendah. Sementara itu, pada kelas recyclable (R) diperoleh nilai precision 0,97, recall 0,82, dan F1-score 0,89, yang menunjukkan bahwa meskipun ketepatan prediksi sangat tinggi, masih terdapat sebagian citra recyclable yang belum terdeteksi secara optimal. Secara keseluruhan, nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa model memiliki performa klasifikasi yang baik dan seimbang dalam membedakan sampah organik dan recyclable.

#### 3.2. Distribusi nilai Precision, Recall, F1-score dan Support



**Gambar 5. Distribusi nilai precision, recall, f1-score, dan support pada hasil klasifikasi menggunakan model Random Forest berbasis ekstraksi fitur MobileNetV2**



**Gambar 6. Distribusi nilai precision, recall, f1-score, dan support pada hasil klasifikasi menggunakan model Random Forest berbasis ekstraksi fitur MobileNetV2**

Keempat grafik pada gambar 5 dan 6 ini menampilkan distribusi metrik evaluasi yang digunakan untuk menilai performa model klasifikasi. Metrik yang dianalisis meliputi precision, recall, F1-score, dan support, yang masing-masing menggambarkan aspek ketepatan, sensitivitas, keseimbangan performa, serta jumlah data uji pada tiap kelas.

**1. Distribusi Precision**

Grafik distribusi precision menunjukkan nilai yang tersebar pada rentang 0,87 hingga 0,97, dengan sebagian besar nilai berada di sekitar 0,91–0,93. Hal ini menandakan bahwa model memiliki tingkat ketepatan prediksi yang tinggi, di mana sebagian besar prediksi kelas benar (positif) memang sesuai dengan label sebenarnya. Nilai precision tertinggi (sekitar 0,97) menunjukkan bahwa model sangat baik dalam menghindari kesalahan klasifikasi positif palsu pada kelas tertentu.

**2. Distribusi Recall**

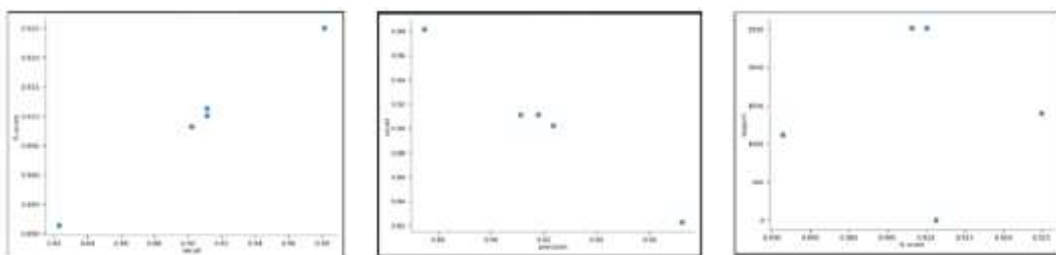
Distribusi recall berada pada rentang 0,82 hingga 0,98, yang memperlihatkan adanya variasi sensitivitas antar kelas. Kelas dengan recall tertinggi (0,98) menunjukkan kemampuan model yang sangat baik dalam mendeteksi semua sampel dari kelas tersebut, sedangkan kelas dengan recall terendah (0,82) menunjukkan bahwa sebagian kecil sampel dari kelas itu belum sepenuhnya terdeteksi dengan benar. Meskipun begitu, mayoritas nilai recall berada di sekitar 0,90–0,92, yang menandakan kinerja deteksi yang konsisten.

**3. Distribusi F1-Score**

F1-score menggambarkan keseimbangan antara precision dan recall. Distribusi F1-score menunjukkan nilai yang stabil antara 0,89 hingga 0,93, dengan mayoritas nilai terkonsentrasi di sekitar 0,91. Hal ini mengindikasikan bahwa model mencapai keseimbangan optimal antara ketepatan dan sensitivitas, yang sangat penting dalam klasifikasi citra sampah yang memiliki kemiripan visual antar kelas.

**4. Distribusi Support**

Distribusi *support* menunjukkan perbedaan jumlah data uji antar kelas, dengan satu kelas memiliki jumlah data lebih besar dibandingkan kelas lainnya. Meskipun demikian, penggunaan parameter *class\_weight* mampu menjaga keseimbangan model sehingga performa klasifikasi tetap konsisten. Hal ini menegaskan bahwa integrasi **MobileNetV2** dan **Random Forest** memberikan kinerja yang stabil dalam mengklasifikasikan citra sampah organik dan recyclable.



**Gambar 6. 2-D Distributions antara precision, recall, F1-score, dan support pada hasil klasifikasi menggunakan model Random Forest berbasis fitur MobileNetV2**

Gambar ini menampilkan distribusi dua dimensi metrik evaluasi (*precision*, *recall*, *F1-score*, dan *support*) yang merepresentasikan performa model pada masing-masing kelas serta hubungan antar metrik dalam menilai keseimbangan klasifikasi citra sampah.

### 3.3. 2-D Distribusi nilai Precision, Recall, F1-score dan Support

#### 1. Distribusi Precision–Recall

Grafik pertama menunjukkan hubungan antara precision dan recall, dengan nilai precision berada pada kisaran 0,87–0,97 dan recall pada 0,82–0,98. Pola sebaran titik memperlihatkan adanya trade-off alami antara keduanya: kelas dengan precision tinggi cenderung memiliki recall yang sedikit lebih rendah, dan sebaliknya. Sebagian besar titik berada di sekitar (0,91, 0,91), yang menunjukkan keseimbangan yang baik antara ketepatan dan sensitivitas deteksi model.

#### 2. Distribusi Recall–F1 Score

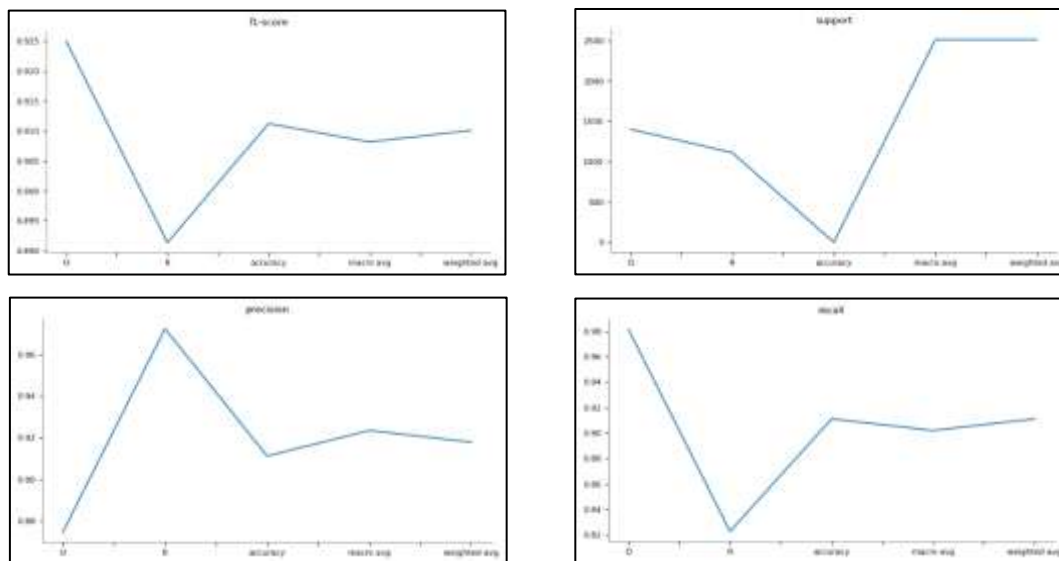
Grafik hubungan *recall* dan *F1-score* menunjukkan sebaran nilai yang relatif stabil, di mana peningkatan *recall* berkontribusi langsung terhadap kenaikan *F1-score*. Nilai *recall* tertinggi menghasilkan *F1-score* terbaik, sedangkan penurunan *recall* berdampak pada menurunnya keseimbangan performa model.

#### 3. Distribusi F1 Score–Support

Grafik hubungan *F1-score* dan *support* menunjukkan bahwa kelas dengan jumlah data uji yang lebih besar cenderung memiliki *F1-score* lebih tinggi. Meskipun terdapat perbedaan jumlah data antar kelas, penggunaan *class weighting* mampu menjaga kestabilan dan keseimbangan performa model.

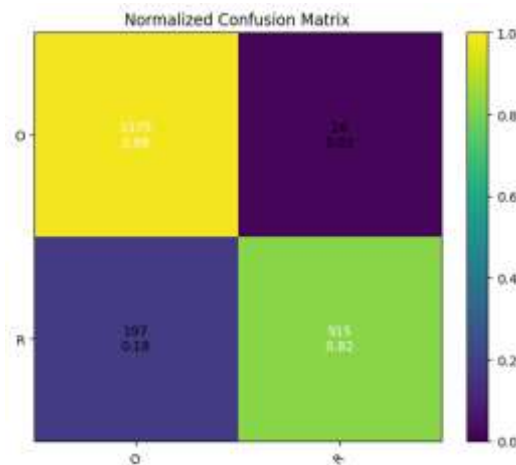
### 3.4. Analisis Visualisasi 2-D Distributions

Visualisasi 2-D menunjukkan bahwa integrasi **MobileNetV2** dan **Random Forest** menghasilkan performa klasifikasi yang stabil dan seimbang dengan kemampuan generalisasi yang baik. Konsistensi nilai precision, recall, dan F1-score di sekitar 0,91 menegaskan efektivitas pendekatan ini dalam klasifikasi citra sampah.



Gambar 7. 2-D Visualisasi nilai precision, recall, f1-score, dan support pada hasil klasifikasi menggunakan model Random Forest berbasis fitur MobileNetV2.

### 3.5. Confusion Matrix



Gambar 8. Normalized Confusion Matrix hasil klasifikasi menggunakan model Random Forest berbasis ekstraksi fitur MobileNetV2

Gambar 8 menunjukkan matriks kebingungan (confusion matrix) yang telah dinormalisasi untuk menilai performa model dalam membedakan dua kelas citra sampah, yaitu O (Organik) dan R (Recyclable). Setiap kotak pada matriks merepresentasikan jumlah prediksi yang benar dan salah yang dilakukan oleh model terhadap masing-masing kelas, dengan nilai yang juga dinyatakan dalam bentuk persentase normalisasi.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil visualisasi pada confusion matrix diperoleh data sebagai berikut:

Tabel berikut menampilkan hasil **confusion matrix** yang menunjukkan perbandingan antara kelas aktual dan prediksi model, serta nilai *recall* untuk masing-masing kelas.

Tabel 3. Confusion Matrix Hasil Klasifikasi Citra Sampah

| Kelas Aktual   | Prediksi O | Prediksi R | Recall |
|----------------|------------|------------|--------|
| O (Organik)    | 1375       | 26         | 0.98   |
| R (Recyclable) | 197        | 915        | 0.82   |

#### a. Kelas O (Organik)

- 1) Model berhasil mengklasifikasikan 1375 citra organik dengan benar, dan hanya 26 citra yang salah diklasifikasikan sebagai kelas recyclable.
- 2) Nilai recall 0.98 menunjukkan bahwa model memiliki tingkat sensitivitas yang sangat tinggi dalam mengenali sampah organik.
- 3) Ini menandakan bahwa fitur yang diekstraksi dari MobileNetV2 efektif dalam menangkap karakteristik visual dari sampah organik, seperti tekstur alami atau bentuk yang tidak beraturan.

#### b. Kelas R (Recyclable)

- 1) Untuk kelas recyclable, model berhasil memprediksi 915 citra dengan benar, namun terdapat 197 citra yang salah dikenali sebagai organik.
- 2) Nilai recall 0.82 menunjukkan bahwa masih terdapat sebagian data recyclable yang tidak terdeteksi dengan benar.
- 3) Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kemiripan visual antara beberapa jenis sampah recyclable (seperti plastik bening atau kertas kusut) dengan sampah organik tertentu, sehingga menyebabkan ambiguitas dalam klasifikasi.

#### c. Kinerja Keseluruhan

- 1) Model memiliki akurasi keseluruhan sebesar 91,12%, sebagaimana ditunjukkan pada hasil evaluasi sebelumnya.
- 2) Warna kuning terang pada diagonal utama menunjukkan tingkat prediksi benar yang tinggi, sementara warna ungu tua pada elemen non-diagonal menunjukkan jumlah kesalahan yang rendah.
- 3) Proporsi warna ini menandakan bahwa model stabil dan mampu mengklasifikasikan kedua kelas dengan baik, meskipun terdapat perbedaan kecil dalam performa antar kelas.

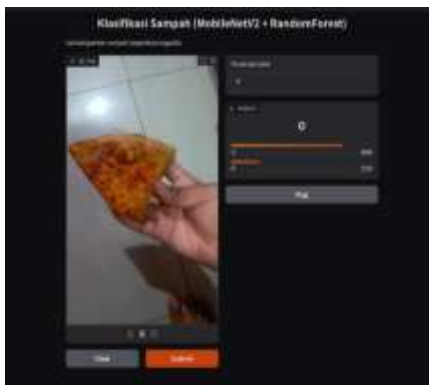
#### 4.1. Hasil

Berdasarkan confusion matrix yang dinormalisasi, dapat disimpulkan bahwa integrasi MobileNetV2 dan Random Forest memberikan hasil klasifikasi yang akurat dan seimbang. Model mampu mengenali citra organik (O) dengan sangat baik dan cukup baik dalam mengenali citra recyclable (R). Meskipun terdapat sebagian kesalahan klasifikasi pada kelas recyclable, performa keseluruhan model tetap tinggi dengan distribusi kesalahan yang relatif kecil. Dengan demikian, pendekatan ini efektif digunakan sebagai dasar sistem kecerdasan buatan untuk klasifikasi citra sampah, khususnya dalam mendukung implementasi pengelolaan sampah cerdas (smart waste management system) berbasis pengenalan citra otomatis.

#### 4.2 Pembahasan

Integrasi **MobileNetV2** dan **Random Forest** dilakukan karena keduanya saling melengkapi, di mana MobileNetV2 mengekstraksi fitur visual secara efisien dan Random Forest melakukan klasifikasi dengan stabilitas tinggi. Pendekatan ini terbukti mampu meningkatkan akurasi klasifikasi citra [2]. Model selanjutnya diimplementasikan dalam antarmuka berbasis **Gradio** untuk memungkinkan pengujian dan klasifikasi citra sampah secara langsung oleh pengguna. Setelah model berhasil dievaluasi, dilakukan tahap implementasi sistem untuk menguji penerapan model dalam lingkungan nyata. Antarmuka sistem dikembangkan menggunakan platform Gradio, yang memungkinkan pengguna untuk mengunggah gambar sampah dan mendapatkan hasil klasifikasi secara langsung.

##### a. Uji Coba Klasifikasi Sampah Organik



**Gambar 9. Menampilkan hasil klasifikasi citra kaleng minuman yang tergolong sebagai recyclable (R)**

Model memprediksi kelas O dengan tingkat kepercayaan 80%, sedangkan probabilitas kelas R sebesar 20%. Hasil ini menunjukkan kemampuan model dalam mengenali pola visual alami seperti bentuk tidak beraturan, warna alami, dan tekstur kasar khas sampah organik.

##### b. Uji Coba Klasifikasi Sampah Recyclable



**Gambar 10. Menampilkan hasil klasifikasi citra kaleng minuman yang tergolong sebagai recyclable (R)**

Model menghasilkan prediksi “R” dengan tingkat kepercayaan 81%, dan probabilitas kelas O sebesar 19%. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa model mampu mengenali ciri visual dari sampah anorganik seperti permukaan reflektif, bentuk simetris, dan warna metalik. Kedua hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat berfungsi dengan baik secara real-time dan memberikan hasil prediksi yang konsisten dengan hasil evaluasi metrik. Tingkat kepercayaan prediksi di atas 90% menunjukkan bahwa sistem layak digunakan sebagai alat bantu dalam klasifikasi sampah berbasis citra.

#### 4.3 Analisis Kesalahan dan Batasan Sistem

Meskipun model menunjukkan kinerja tinggi, masih terdapat beberapa batasan yang perlu diperhatikan:

- 1) Kesalahan klasifikasi pada kelas recyclable umumnya disebabkan oleh kemiripan tekstur dan warna antara beberapa sampah anorganik (seperti plastik transparan) dengan sampah organik.
- 2) Kondisi pencahayaan dan latar belakang citra juga mempengaruhi hasil prediksi, karena model lebih sensitif terhadap pola visual dominan.
- 3) Sistem saat ini hanya terbatas pada dua kelas (organik dan recyclable). Untuk penerapan di dunia nyata, perlu penambahan kelas seperti *residu* atau *B3 (bahan berbahaya dan beracun)*.
- 4)

#### 5. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sebuah model klasifikasi citra sampah dengan mengintegrasikan MobileNetV2 sebagai feature extractor dan Random Forest sebagai classifier. Model yang dihasilkan mampu mencapai tingkat akurasi sebesar 91,12%, dengan nilai rata-rata precision, recall, dan F1-score berada pada kisaran 0,90–0,92. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model memiliki stabilitas performa yang baik pada kedua kelas, yaitu organik dan recyclable, serta mampu memberikan hasil prediksi dengan tingkat kepercayaan di atas 90%.

Sistem yang dibangun juga telah diimplementasikan dalam bentuk antarmuka interaktif berbasis web, yang memungkinkan pengguna untuk mengunggah citra sampah dan memperoleh hasil klasifikasi secara langsung. Dengan demikian, model ini memiliki potensi tinggi untuk diterapkan pada sistem pengelolaan sampah cerdas (smart waste management) dan aplikasi berbasis Internet of Things (IoT).

Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan model ini untuk multi-kelas sampah atau mengintegrasikannya dengan sistem IoT untuk pemantauan limbah secara otomatis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ade Agung Kurniawan, Hermanto, & Rahmawati, S. (2024). Smart Tong Sampah Pendeteksi Otomatis Sampah Organik & Anorganik Berbasis IoT Smart city. *Jurnal*

- KomtekInfo*, 11(3), 163–172. <https://doi.org/10.35134/komtekinf.v11i3.564>
- [2]. Hanif, M., & Arief, Z. S. (2025). Analisis Perbandingan Kinerja CNN Sekuensial dan Transfer Learning MobileNetV2 untuk Klasifikasi Sampah. *JAPTIKA | J. Apl. Inform. Multimed.* |, 1(1), 16–20. <https://journal.aptika.org/index.php/japtika>
- [3]. Hendri, H., Hoki, L., Agusman, V., & Aryanto, D. (2021). Penerapan Machine Learning Untuk Mengategorikan Sampah Plastik Rumah Tangga. *Jurnal TIMES*, 10(1), 1–5. <https://doi.org/10.51351/jtm.10.1.2021645>
- [4]. Ibnul Rasidi, A., Pasaribu, Y. A. H., Ziqri, A., & Adhinata, F. D. (2022). Klasifikasi Sampah Organik dan Non-Organik Menggunakan Convolutional Neural Network. *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 8(1), 142–149. <https://doi.org/10.28932/jutisi.v8i1.4314>
- [5]. Kumala, R. A., Sari, C. A., & Rachmawanto, E. H. (2025). A Comparison of MobileNetV2 and VGG16 Architectures with Transfer Learning for Multi-Class Image-Based Waste Classification. *Journal of Applied Informatics and Computing*, 9(4), 1610–1624. <https://doi.org/10.30871/jaic.v9i4.9958>
- [6]. Lau, M. V., Handayani, A. D., Widodo, M. Y., & Handayani, R. I. (2025). Implementasi Metode Random Forest untuk Klasifikasi Sampah Organik dan Anorganik Berbasis Citra Digital. 4(4), 400–406.
- [7]. Muslihati, Sahibu, S., & Taufik, I. (2024). Implementation of the Convolutional Neural Network Algorithm for Classifying Types of Organic and Non-Organic Waste. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 4(3), 840–852.
- [8]. Nainggolan, C. E. S., Nasir, M., & Udariansyah, D. (2024). Perbandingan Klasifikasi Jenis Sampah Menggunakan Convolutional Neural Network Dengan Arsitektur ResNet18 dan ResNet50 The Classification Comparison of Waste Type Using Convolutional Neural Network by Resnet18 and Resnet50 Architecture. *CSRID Journal*, 16(1), 76–90. <https://www.doi.org/10.22303/csrid.1.1.2022.01-10>
- [9]. Putri, A., & Sari, T. N. (2025). Pengembangan Sistem Klasifikasi Sampah Otomatis Berbasis Kecerdasan Buatan ( AI ) Untuk Mendukung Pengelolaan Limbah Yang Berkelanjutan. I, 1–9.
- [10]. Thantawi, A. M., & Setiawati, S. (2025). Penerapan Kecerdasan Buatan dalam Sistem Bank Sampah Digital: Evaluasi Penggunaan dan Dampak terhadap Pengelolaan Komunitas. *Ikra-Ith Abdimas*, 9, 491–497. <https://journals.upi-yai.ac.id/index.php/IKRAITH-ABDIMAS/article/download/5158/3928>