



PENGEMBANGAN PROTOTIPE SISTEM KLASIFIKASI SAMPAH OTOMATIS BERBASIS ROBOTIKA DENGAN *MACHINE LEARNING* (STUDI KASUS DINAS LINGKUNGAN HIDUP KABUPATEN KUNINGAN)

Fanji Fakhru Zaman¹, Agus Syahril Mubarak²
Program Studi Informatika, Universitas Islam Al-Ihya Kuningan
Email: fanjifakhru@gmail.com, agussyahrilmubarak@gmail.com

Abstrak

Kesadaran masyarakat terhadap pentingnya pengelolaan sampah masih kurang, yang menyebabkan sering terjadinya kesalahan dalam pembuangan sampah sesuai dengan jenisnya. Pada saat ini, teknologi robotika dan *machine learning* muncul sebagai solusi yang menjanjikan dalam menangani berbagai tugas secara otomatis. Penelitian ini difokuskan pada pengembangan prototipe sistem klasifikasi sampah organik dan anorganik secara otomatis yang berbasis robotika menggunakan *machine learning*, dengan studi kasus di Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Kuningan. Pengembangan dan pengujian prototipe sistem klasifikasi sampah otomatis ini terdiri dari subsistem yang saling terintegrasi, menggunakan teknologi robotika, *machine learning*, dan aplikasi Android. Penerapan konsep robotika berupa sistem kontrol, sensor dan aktuator pada tempat sampah otomatis dengan menggunakan algoritma *Convolutional Neural Network* arsitektur MobileNetV2 untuk klasifikasi objek gambar sampah organik dan anorganik. Selain itu, penggunaan aplikasi Android yang diintegrasikan untuk memudahkan pengguna dalam melihat hasil klasifikasi yang telah dilakukan oleh prototipe sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa prototipe sistem yang dikembangkan mampu melakukan klasifikasi dengan baik dalam pemilahan sampah organik dan anorganik. Implikasi dari penelitian ini sangat penting, karena penggunaan teknologi robotika dan *machine learning* dapat meminimalkan kesalahan dalam pembuangan sampah jenis organik dan anorganik.

Kata kunci : Sampah, Klasifikasi, Robotika, *Machine Learning*, *Prototyping*.

Abstract

The public's awareness of the importance of waste management remains low, leading to frequent mistakes in waste disposal according to its type. Currently, robotics and machine learning technology emerge as promising solutions for handling various tasks automatically. This research focuses on developing a prototype system for the automatic classification of organic and inorganic waste based on robotics using machine learning, with a case study at the Environmental Service Office of Kuningan Regency. The development and testing of this automatic waste classification system prototype consist of integrated subsystems, utilizing robotics technology, machine learning, and an Android application. The application of robotics concepts includes a control system, sensors, and actuators on an automatic waste bin, using the MobileNetV2 architecture Convolutional Neural Network algorithm to classify images of organic and inorganic

waste. Additionally, an integrated Android application is used to facilitate users in viewing the classification results performed by the system prototype. The test results show that the developed system prototype can effectively classify and separate organic and inorganic waste. The implications of this research are significant, as the use of robotics and machine learning technology can minimize errors in the disposal of organic and inorganic waste.

Keywords : Waste, Classification, Robotics, Machine Learning, Prototyping.

Pendahuluan

Pertumbuhan populasi dan ekonomi yang cepat di Kabupaten Kuningan telah secara signifikan meningkatkan produksi sampah. Jenis-jenis sampah yang dihasilkan meliputi sisa makanan, kertas, plastik, dan logam. Peningkatan volume sampah ini menimbulkan tantangan dalam pengelolaannya. Masyarakat sering kali belum memahami pentingnya pemilahan sampah yang baik, yang merupakan langkah awal dalam pengelolaan sampah yang efektif. Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Kuningan telah menerapkan berbagai tahapan pengelolaan sampah, mulai dari pemilahan, pengumpulan, pengangkutan, hingga pemrosesan akhir sampah. Pelaksanaan tahap pemilahan bergantung pada partisipasi masyarakat, namun masih menghadapi kendala dalam membedakan antara sampah organik dan anorganik.

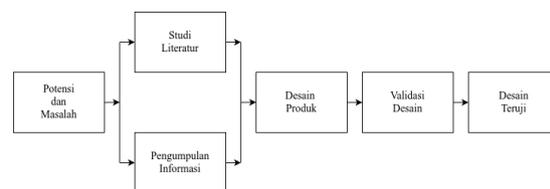
Teknologi robotika dan *machine learning* saat ini banyak digunakan untuk otomatisasi tugas atau kegiatan manusia. Robotika memungkinkan alat mekanik melakukan tugas fisik dengan atau tanpa kontrol manusia (Alfian, 2019). *Machine learning* merupakan teknik untuk mengembangkan model matematis dengan memprediksi pola-pola data dan memperoleh informasi (Alia, 2023). Salah satu metode *machine learning* adalah *Convolutional Neural Network* dengan arsitektur MobileNetV2, yang dirancang untuk menjadi ringan dan cepat dalam

perangkat dengan sumber daya terbatas (Geron, 2023).

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengembangkan prototipe sistem klasifikasi sampah otomatis dengan mengimplementasikan konsep robotika dan *machine learning*. Penerapan konsep robotika dengan mengimplementasikan komponen seperti *Microcontroller* ESP32 dan *ESP32 Cam*, sensor ultrasonik, dan motor servo. Pada *machine learning* melakukan *transfer learning* dari model MobileNetV2 menjadi model klasifikasi sampah organik dan anorganik. Dengan adanya prototipe ini diharapkan dapat menjadi inovasi dalam proses klasifikasi sampah organik dan anorganik.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode penelitian dan pengembangan tingkat 1 dengan pendekatan yang sistematis dan terstruktur untuk mencapai tujuan penelitian. Terdapat beberapa tahapan dalam penelitian ini sebagai berikut:



Gambar 1. Langkah-Langkah Penelitian dan Pengembangan Tingkat 1 (Sumber: Sugiyono, 2019)

a. Potensi dan Masalah

Tahap menemukan potensi dan masalah dalam kegiatan klasifikasi sampah yang dilakukan masyarakat atau produsen sampah. Dengan melakukan observasi dan wawancara secara mendalam terhadap masyarakat dan petugas pengelolaan sampah dari Dinas Lingkungan Kabupaten Kuningan.

b. Studi Literatur dan Pengumpulan Informasi

Studi literatur dilakukan dengan mengkaji penelitian terdahulu yang berkaitan dengan klasifikasi sampah, mengumpulkan informasi dalam menerapkan teknologi terhadap proses klasifikasi sampah.

c. Prototyping

Tahap ini dilakukan pengembangan prototipe sistem klasifikasi sampah otomatis berbasis robotika dengan machine learning. Tahap ini mencakup berbagai langkah-langkah penting yang meliputi:

1. Komunikasi

Tahap ini peneliti melakukan diskusi kebutuhan dari prototipe seperti analisis kebutuhan fungsional, non-fungsional, dan spesifikasi prototipe.

2. Perancangan (Perencanaan dan Desain)

Hasil dari komunikasi selanjutnya peneliti membuat rancangan dan desain seperti apa sistem yang akan dibuat. Struktur, komponen dan interaksi antara elemen-elemen yang membentuk sistem harus ditulis dan dijelaskan secara lengkap agar pengembang dan pengguna mudah memahami rancangan dari sistem.

3. Pembuatan Prototipe

Tahap ini dilakukan dengan membuat prototipe sistem, yang terdiri dari sub-sub sistem kemudian mengintegrasikan dan menguji setiap komponen-komponen pada sistem

berdasarkan hasil rancangan yang telah dibuat.

4. Evaluasi

Tahap mengevaluasi terhadap kinerja dan fungsionalitas prototipe. Jika hasil tidak sesuai, prototipe direvisi dengan mengulangi langkah satu, dua dan tiga. Jika hasil sesuai maka prototipe berhasil dibuat.

d. Validasi Prototipe

Pengujian prototipe dilakukan secara internal untuk meminta pendapat pakar atau ahli terhadap rancangan produk dan prototipe yang dibuat. Pengujian internal ini dapat dilakukan berkali secara siklus sampai diperoleh rancangan yang baik.

e. Prototipe Teruji

Berdasarkan tahap sebelumnya berupa hasil validasi desain produk dan prototipe. Untuk selanjutnya peneliti memperbaiki desain dan prototipe tersebut sehingga menjadi telah teruji.

Hasil dan Pembahasan

Pada tahapan ini akan dibahas hasil penelitian mengenai pengembangan prototipe berbasis robotika dengan integrasi *machine learning* dan aplikasi Android.

Analisis Kebutuhan

Pada penelitian ini, hasil analisis kebutuhan prototipe sistem klasifikasi sampah otomatis yang dikembangkan, seperti sistem yang berjalan saat ini masyarakat secara manual memilah sampah dan sistem usulan menggantikan proses manual tersebut. Sistem otomatis mengklasifikasi sampah dengan deteksi objek dan memilah objek sampah. Kebutuhan fungsionalnya termasuk mendeteksi objek, mengklasifikasi sampah organik dan anorganik serta menyimpan sampah tersebut. Selain itu, sistem harus cepat dan akurat. Konsep berbasis robotika dengan menerapkan *machine learning*

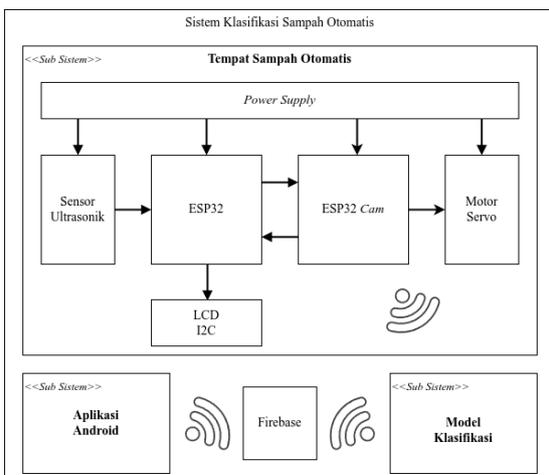
digunakan untuk mendukung otomatisasi, dan klasifikasi.

Tabel 1. Kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak pengembangan prototipe.

Nama	Keterangan
ESP32	Perangkat kontrol pada sistem.
ESP32Cam	Sistem kontrol dan media rekam.
Ultrasonik	Pendeteksi jarak objek sampah.
Motor Servo	Mengatur letak objek sampah.
LCD I2C	Menampilkan pesan berupa teks.
Power Supply	Memberikan energi listrik.
Koneksi Internet	Menghubungkan sistem dengan <i>internet</i> .
Arduino 2.0	Untuk memprogram mikrokontroler.
TensorFlow versi 2	Untuk membuat model klasifikasi.
Android Studio	Untuk membuat aplikasi Android.

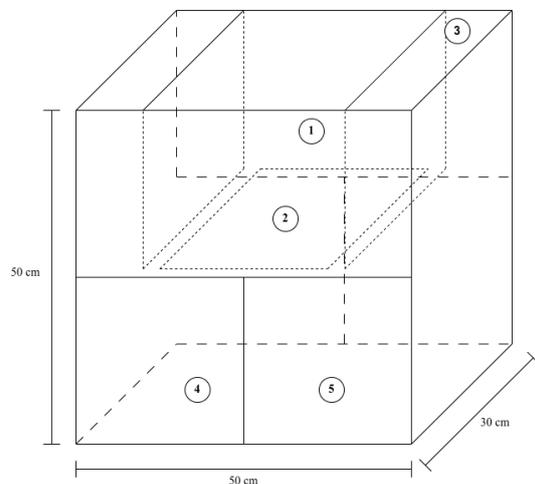
Perancangan Prototipe

Pada penelitian ini, peneliti membagi sistem ke dalam sub-sub sistem yaitu tempat sampah otomatis, model klasifikasi dan aplikasi Android.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem Klasifikasi Sampah Otomatis

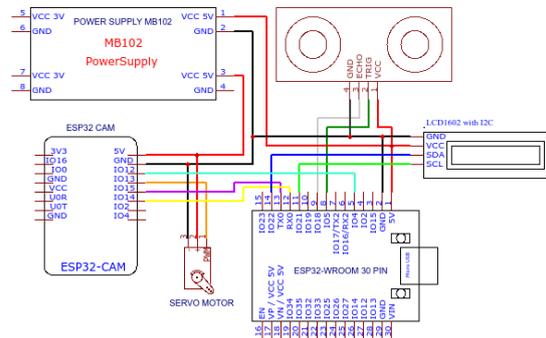
(1) Tempat sampah otomatis yaitu subsistem pengelola sampah secara otomatis terdiri dari mikrokontroler ESP32, ESP32 Cam, power supply, sensor ultrasonik, motor servo dan LCD I2C. (2) Model klasifikasi yaitu subsistem klasifikasi organik dan anorganik menggunakan *machine learning*. Sistem ini menangani pemrosesan gambar yang akan mengklasifikasinya menjadi organik atau anorganik. (3) Aplikasi Android yaitu subsistem untuk menampilkan hasil klasifikasi yang dilakukan tempat sampah otomatis dan data hasil klasifikasi tersebut tersimpan di Firebase.



Gambar 3. Sketsa Tempat Sampah Pada Sistem Klasifikasi Sampah Otomatis

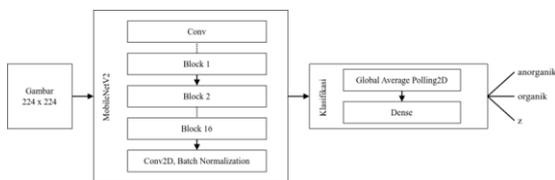
Sketsa tempat sampah yang akan dibuat memiliki dimensi panjang 50 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 50 cm. Keterangan pada sketsa: (1) lokasi untuk ESP32 Cam, sensor ultrasonik, motor servo, ESP32, dan power supply, (2) katup untuk penempatan dan pemilahan sampah, (3) tempat untuk LCD, (4) ruang penyimpanan sampah organik, dan (5) ruang penyimpanan sampah anorganik. Tempat sampah otomatis ini dilengkapi dengan komponen-komponen robotika, dimana rancangan skematik elektronika menghubungkan ESP32 Cam ke power supply melalui pin VCC 5V dan GND, dengan pin 13 terhubung ke PWM motor servo, pin 14

dan 15 ke Rx dan Tx ESP32, serta pin 12 ke pin 4 ESP32. ESP32 dihubungkan ke *power supply* melalui USB atau pin VCC 5V dan GND, dengan pin Rx dan Tx terhubung ke ESP32 Cam, pin 18 dan 5 terhubung ke sensor ultrasonik, pin 21 ke SDA, dan pin 22 ke SCL pada LCD I2C. Motor *servo* dan sensor ultrasonik mendapatkan daya dari VCC 5V dan GND, sementara *power supply*, yang disuplai oleh adaptor 9V, mendistribusikan daya ke seluruh



komponen secara efisien.

Gambar 4. Skematik Diagram Elektronika Tempat Sampah Otomatis



Gambar 5. Rancangan Model Klasifikasi

Rancangan model klasifikasi untuk sampah organik dan anorganik menggunakan *input* gambar berukuran 224x224 piksel, memanfaatkan arsitektur MobileNetV2 sebagai model pralatih (*pretrained* model). Model ini ditingkatkan dengan penambahan lapisan *Global Average Pooling2D* dan *Dense* untuk tujuan klasifikasi. Hasil keluaran model ini menghasilkan tiga kelas, yaitu organik, anorganik, dan kelas lainnya (*z*).

Pembuatan dan Pengujian Prototipe

Berdasarkan rancangan prototipe, selanjutnya peneliti melakukan pembuatan

dan pengujian prototipe sistem klasifikasi sampah otomatis, yaitu:

Model Klasifikasi



Gambar 6. Sampel Foto-Foto Sampah

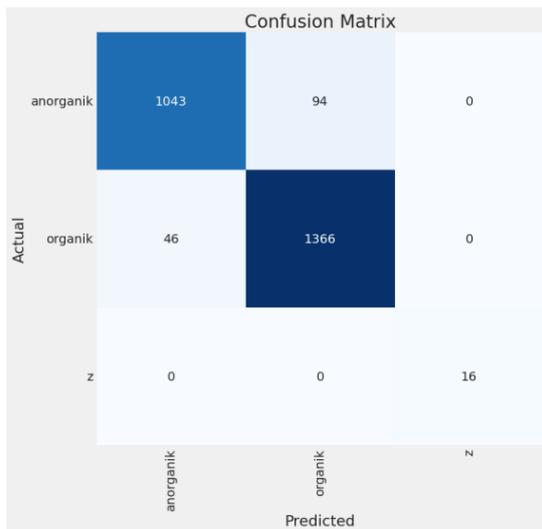
Model klasifikasi untuk sampah organik dan anorganik dilatih menggunakan dataset yang terdiri dari 11.295 gambar anorganik, 14.202 gambar organik, serta 150 gambar tanpa objek untuk mengatasi ketidakhadiran objek organik dan anorganik. *Dataset* tersebut diberi label berdasarkan nama *folder*, kemudian dibuat menjadi *dataframe* yang dibagi secara acak menjadi tiga subset: pelatihan (80%), validasi (10%), dan pengujian (10%). Seluruh gambar berukuran 224x224 piksel dengan tiga saluran warna (RGB), dan dilakukan augmentasi gambar untuk meningkatkan variasi data. Konfigurasi augmentasi meliputi *rescale* (1.0/255.0), *zoom* dan *shear range* (0.2), rotasi (40 derajat), pergeseran lebar dan tinggi (0.2), serta pembalikan gambar secara horizontal dan vertikal.

Model klasifikasi dibangun menggunakan arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN) MobileNetV2 yang telah dilatih sebelumnya dengan dataset ImageNet. Model ini ditambahkan lapisan klasifikasi, dengan gambar dikonversi menjadi vektor rata-rata untuk setiap fitur saluran, kemudian dilanjutkan dengan lapisan dense berjumlah 128 unit dengan fungsi aktivasi ReLU. Pada lapisan dense terakhir terdapat dua kelas dengan fungsi aktivasi Softmax untuk menghasilkan klasifikasi. Model dikompilasi menggunakan Adam *Optimizer* dengan *learning rate* 0.001 dan fungsi kerugian *categorical crossentropy*.



Gambar 7. Grafik Hasil Pelatihan Model

Model dilatih selama 10 epoch, memakan waktu tiga jam 25 menit 48 detik, dan berhasil mencapai akurasi 94% serta tingkat kesalahan (*loss*) sebesar 0,14%. Pada subset validasi, model menunjukkan hasil terbaik pada epoch terakhir, di mana nilai akurasi konstan sementara kesalahan sedikit meningkat. Hasil evaluasi model terhadap subset pelatihan, validasi, dan pengujian menunjukkan akurasi sebesar 96%, 94%, dan 94%, dengan tingkat kesalahan masing-masing 0,09, 0,14, dan 0,14.



Gambar 8. Confusion Matrix Model

Evaluasi lebih lanjut terhadap model menggunakan *Confusion Matrix* menghasilkan nilai *precision*, *recall*, dan *f1-score* untuk kelas anorganik, organik, dan z dengan rincian sebagai berikut: *precision* 96%, *recall* 92%, dan *f1-score* 94% untuk kelas anorganik; *precision* 94%, *recall* 97%, dan *f1-score* 95% untuk kelas organik; serta *precision*, *recall*, dan *f1-score* 100% untuk kelas z. Setelah mencapai kinerja optimal, model disimpan dalam *format* TensorFlow dan diterapkan

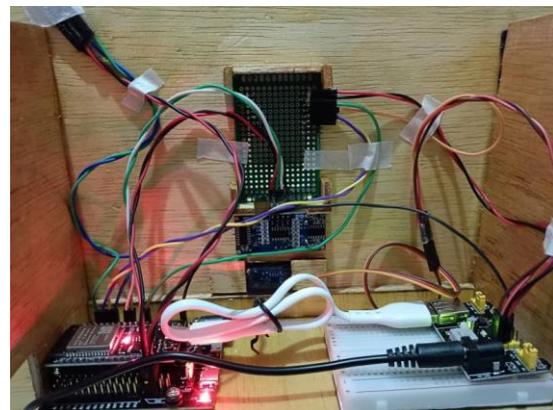
pada server sebagai model klasifikasi. Model ini dapat menerima gambar melalui URL, di mana gambar yang dikirimkan akan diproses dan diklasifikasikan dengan respons berupa label serta akurasi hasil klasifikasi.

Tempat Sampah Otomatis



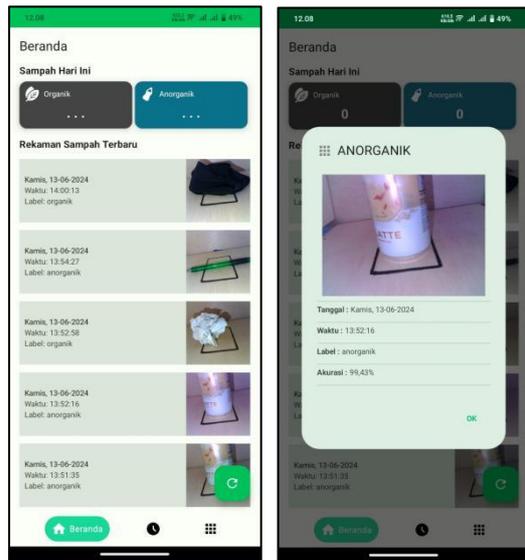
Gambar 9. Hasil Perakitan Tempat Sampah

Pada tahap ini, dilakukan perakitan dan pengujian tempat sampah otomatis sesuai dengan rancangan fisik yang dihasilkan. Setelah itu, dilakukan pengkodean pada mikrokontroler ESP32 *Cam (master)* dan ESP32 (*slave*), serta penghubungan komponen sesuai skema elektronika, termasuk ESP32 *Cam*, ESP32, sensor ultrasonik, motor servo, LCD, dan *power supply*. Setelah perakitan, setiap komponen ditempatkan dalam lokasi yang telah ditentukan, terutama mikrokontroler ESP32 dan *power supply* yang disimpan di area kontrol.



Gambar 10. Penyimpanan Tempat Kontrol

Aplikasi Android



Gambar 11. Hasil Tampilan Aplikasi Android

Aplikasi Android dibuat menggunakan Android Studio sesuai dengan perancangan aplikasi Android menggunakan bahasa pemrograman Kotlin versi 1.7.20 dan untuk skrip kode terdapat pada lampiran kode aplikasi Android. Pengembangan aplikasi dimulai dengan mengkonfigurasi proyek pengembangan Android kemudian mengintegrasikan proyek dengan Firebase.

Pengujian Prototipe

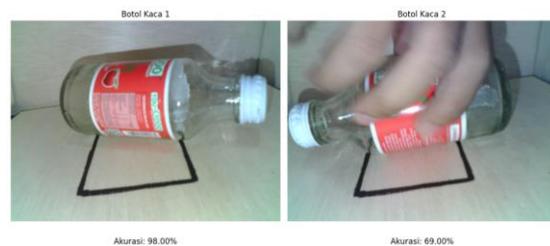
Pengujian prototipe dilakukan untuk memastikan seluruh sistem berfungsi dengan baik dalam mengklasifikasikan sampah organik dan anorganik dengan akurasi dan kecepatan yang optimal. Sampah yang diuji meliputi organik seperti kulit pisang, sayuran, daun, ranting, kertas, tulang hewan, dan anorganik seperti botol plastik, gelas plastik, plastik, botol kaca, besi, dan kaleng. Pengujian dilakukan dalam dua skenario: pencahayaan normal dan pencahayaan rendah, dengan dua iterasi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada pencahayaan normal, rata-rata akurasi mencapai 72-99,62% dengan kecepatan antara 12-16 detik. Pada

pencahayaan rendah, akurasi bervariasi antara 76,32-99,79% dengan kecepatan antara 12-15,5 detik. Semua objek berhasil diklasifikasikan sesuai kondisi yang diharapkan.

Evaluasi dan Interpretasi Prototipe

Evaluasi prototipe dilakukan dengan melibatkan pengguna dan ahli melalui diskusi mendalam, yang menghasilkan beberapa perbaikan. Bahan dasar tempat sampah diganti dari kardus menjadi triplek untuk meningkatkan stabilitas, dan komponen LCD ditambahkan untuk memudahkan pengguna memahami proses klasifikasi sampah.



Gambar 12. Perbandingan Akurasi Karakteristik Objek

Akurasi klasifikasi sampah organik dan anorganik tetap tinggi, meskipun sedikit menurun dari model awal yang mencapai 94% menjadi 90% setelah diintegrasikan dengan robotika, dengan waktu pemrosesan rata-rata 13 detik. Akurasi bergantung pada kualitas gambar yang diperoleh, sehingga penempatan objek sampah dengan baik diperlukan agar sensor kamera dapat memotret dengan benar. Akurasi tetap konsisten dalam kondisi pencahayaan normal dan rendah berkat pemasangan lampu kilat pada robot. Secara keseluruhan, prototipe ini berhasil memenuhi tujuan dengan hasil yang memuaskan dalam hal akurasi dan efisiensi sistem klasifikasi otomatis berbasis robotika dan machine learning.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa:

1. Prototipe sistem klasifikasi sampah otomatis berbasis robotika dengan *machine learning* telah berhasil dikembangkan. Dengan menerapkan konsep robotika pada prototipe sistem menggunakan mikrokontroler, sensor dan aktuator, objek sampah dapat dipilah secara otomatis. Pada bagian sistem yaitu model klasifikasi untuk menentukan jenis objek sampah dengan menggunakan algoritma *Convolutional Neural Network* dengan arsitektur MobileNetV2.
2. Hasil pengujian prototipe sistem menunjukkan kinerja yang memuaskan dalam mengklasifikasi sampah organik dan anorganik dengan nilai akurasi sebesar 94% pada pembuatan model klasifikasi, dan akurasi 90% ketika model diintegrasikan pada sistem dengan waktu pemrosesan rata-rata 13 detik per objek sampah. Ketepatan klasifikasi bergantung pada kualitas gambar yang diperoleh.

Bibliografi

- Alfian, F (2019). Rancang Bangun Robot Pemilah Sampah Organik dan Non Organik. *Tesis*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah: Jakarta. <http://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/48193>.
- Alia, L. S. (2023). Klasifikasi Jenis Sampah Menggunakan *Image Classification Convolutional Neural Network*. *Tesis*. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau: Pekanbaru. <http://repository.uin-suska.ac.id/72992>.
- Alkautsar, Y. N. Y., Arbaatun, C. N., Prawita, F. N. (2020). MATRASH: *The Use Of Machine Learning In The Waste Bank Based Iot Integrated With Smart Trash Bin*. *eProceedings of Applied Science*. 6, (3), 244-5826. <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/appliedscience/article/view/13943>.
- Fauzan, Y. (2020). Kotak Penerima Paket Berbasis IoT Menggunakan Modul ESP32 *Cam*. Tesis. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah: Jakarta. <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/56069>.
- Geron, A. (2023). *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras and TensorFlow Third Edition*. Sebastopol: O'Reilly Media.
- Hendri, F. R., & Utamingrum, F. (2022). Rancang Bangun Sistem Pengklasifikasi Jenis Sampah Organik dan Anorganik menggunakan metode *You Only Look Once* versi 3 berbasis Raspberry Pi. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu*
- Lakshmanan, V., Gerner, M., Gillard, R. (2021). *Practical Machine Learning for Computer Vision*. Sebastopol: O'Reilly Media.
- Latifah, R. U. (2022). Pengembangan Robot Pemilah Sampah Menggunakan *Convolutional Neural Network*. *Tesis*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah: Jakarta. Diambil dari <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/65774>.
- Parasian, P. O., & Utamingrum, F. (2022). Rancang Bangun Sistem Pengklasifikasi Jenis Sampah Organik dan Sampah Daur Ulang menggunakan Resnet50. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 6 (4), 1994–1999. <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/10943>.
- Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian dan Pengembangan (Research and Development)*. Bandung: Alfabeta