

Implementasi *Convolutional Neural Network* Dalam Sistem Otomatis Pemilahan Sampah Infeksius Berbasis Citra Digital

Renaldi Irfan Firdaus, Wibowo Harry Sugiharto, Muhammad Imam Ghozali

^{1,2,3)} Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus

Email: 202051075@std.umk.ac.id; wibowo.harrys@umk.ac.id; Imam.ghozali@umk.ac.id

Diterima:	Diterima Setelah Revisi:	Dipublikasikan:
14 Januari 2025	15 Februari 2025	27 Februari 2025

Abstrak

Pengelolaan limbah medis, khususnya limbah infeksius, tidak boleh dicampur dengan jenis limbah lainnya. Salah satu risiko penanganan limbah infeksius tanpa pengetahuan yang tepat tentang metode pengolahannya adalah meningkatnya peluang penularan penyakit. Setelah limbah infeksius dipisahkan dengan benar, limbah tersebut harus ditangani dengan benar untuk menghindari risiko lebih lanjut. Oleh karena itu, pembuatan tempat sampah otomatis untuk memilah limbah infeksius dan non infeksius memerlukan pendekatan yang lebih maju dan sistem klasifikasi limbah yang cepat dan akurat. Peneliti mengimplementasikan *Convolutional Neural Network* (CNN) pada sistem pemilahan limbah infeksius berbasis citra digital menggunakan metode pengembangan prototipe. Model *Convolutional Neural Network* digunakan untuk mengklasifikasikan jenis limbah infeksius berdasarkan citra yang ditangkap oleh sensor ESP32-Cam. Sensor kamera ESP32-Cam memerlukan library yang merupakan *input* dari edge impulses sebagai penyimpanan data citra sampah.

Kata kunci: Limbah medis, Convolutional Neural Network, Prototype

Abstract

Medical waste management, especially infectious waste, must not be mixed with other types of waste. One of the risks of handling infectious waste without proper knowledge of its treatment methods is the increased chance of disease transmission. Once infectious waste is properly separated, it must be handled correctly to avoid further risks. Therefore, creating an automated waste bin to sort infectious and non-infectious waste requires a more advanced approach and a fast, accurate waste classification system. The researcher implemented a Convolutional Neural Network (CNN) in an infectious waste sorting system based on digital images using a prototype development method. The Convolutional Neural Network model was used to classify types of infectious waste based on images captured by the ESP32-Cam sensor. The ESP32-Cam camera sensor requires a library that is input from edge impulses as a garbage image data storage.

Keywords: Medical waste, Convolutional Neural Network, Prototype

1 PENDAHULUAN

Sampah merupakan sisa yang tidak terpakai yang memiliki potensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan. Sampah dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama: sampah padat, cair, dan gas. Khususnya, sampah infeksius atau medis menjadi perhatian serius

karena berpotensi menularkan penyakit, terutama melalui kontaminasi terhadap orang yang rentan, seperti pasien dengan sistem kekebalan tubuh yang rendah. Sampah infeksius mencakup masker bekas, perban bekas, tisu bekas, dan jarum suntik yang telah digunakan, yang dapat memicu penyebaran penyakit jika tidak ditangani dengan benar. Penanganan yang tidak tepat pada sampah ini berisiko bagi petugas medis, pengunjung, dan masyarakat umum, yang mungkin terpapar penyakit akibat interaksi langsung dengan sampah tersebut (Smith *et al.*, 2022).

Mengelola sampah infeksius memerlukan penanganan yang hati-hati dan terstruktur. Penting bagi petugas medis dan pengelola sampah untuk membedakan antara sampah infeksius dan non-infeksius guna mengurangi risiko penularan penyakit. Penggunaan tempat sampah pintar dengan teknologi pengolahan citra digital seperti *Convolutional Neural Network* (CNN) dapat membantu mengotomatisasi proses pengelompokan sampah berdasarkan kontaminasi infeksius (Johnson *et al.*, 2023). Sistem ini memungkinkan pemisahan yang akurat antara sampah infeksius dan non-infeksius, yang selanjutnya dapat dikelola secara aman oleh pihak yang kompeten. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan tempat sampah pintar yang dapat membedakan sampah infeksius dari non-infeksius melalui metode citra digital. Dengan menggunakan teknologi ini, pengelolaan sampah infeksius di rumah sakit, puskesmas, dan klinik dapat lebih efektif, mengurangi risiko penyebaran penyakit yang disebabkan oleh kontaminasi sampah (Lee *et al.*, 2022). Penerapan sistem ini juga berkontribusi pada peningkatan keselamatan dan efisiensi kerja petugas yang bertanggung jawab atas pengelolaan sampah medis.

Implementasi tempat sampah pintar dapat memberikan solusi yang lebih aman dalam mengelola sampah infeksius, mengurangi potensi bahaya yang terkait dengan penanganan yang salah. Dengan demikian, penelitian ini berperan dalam mendukung sistem pengelolaan limbah medis yang lebih berkelanjutan dan berbasis teknologi (Kim *et al.*, 2021). Adapun tujuan dari penelitian ini untuk pembuatan tempat sampah pintar adalah untuk memisahkan antara sampah infeksius dan non-infeksius menggunakan metode citra digital. Dengan adanya sistem tersebut masalah tercampurnya sampah yang dapat menular bisa diminimalisir dan petugas non medis yang bertugas dapat secara aman mengolahnya dengan benar.

Salah satu studi yang menonjol dilakukan oleh Mareta *et al.* (2024), yang mengembangkan model CNN untuk mengidentifikasi limbah infeksius melalui aplikasi Android. Dalam penelitian ini, mereka mengumpulkan dataset citra limbah infeksius dari internet dan melatih model CNN yang mampu mengklasifikasikan jenis limbah dengan akurasi mencapai 94%. Hasil ini menunjukkan bahwa model tersebut efektif dalam mengenali berbagai jenis limbah infeksius, meskipun jumlah dataset per kelas masih terbatas. Selain itu, penelitian oleh Alden dan Sari (2023) mengimplementasikan algoritma CNN untuk pemilahan jenis sampah berbasis Android menggunakan metode CRISP-DM. Mereka mengumpulkan 5.428 dataset gambar sampah dan melatih model CNN dengan arsitektur MobileNet. Pengujian menunjukkan bahwa model ini mampu mengklasifikasikan sampah organik dan anorganik dengan akurasi tinggi, mencapai 96% untuk sampah organik dan 99% untuk sampah anorganik. Implementasi ini diharapkan dapat membantu masyarakat dalam memilah sampah dengan benar melalui aplikasi mobile yang *user-friendly*.

Penelitian lain oleh Muslihati *et al.* (2023) juga mengkaji penggunaan algoritma CNN dalam klasifikasi sampah organik dan non-organik. Studi ini menekankan pentingnya pengujian berulang untuk mencapai akurasi optimal, dengan model CNN yang berhasil mencapai tingkat akurasi tertinggi sebesar 96,43% setelah enam kali percobaan. Temuan ini mengindikasikan bahwa model CNN memiliki potensi besar dalam membantu proses pemilahan sampah secara otomatis dan efisien. Secara keseluruhan, berbagai penelitian tersebut menunjukkan bahwa implementasi CNN dalam sistem pemilahan sampah infeksius berbasis citra digital dapat meningkatkan akurasi dan efisiensi proses klasifikasi limbah medis. Pengembangan lebih lanjut dan integrasi teknologi ini ke dalam aplikasi mobile diharapkan dapat mempermudah masyarakat dan tenaga medis dalam mengelola limbah infeksius dengan lebih baik, sehingga berkontribusi pada peningkatan kesehatan dan kebersihan lingkungan.

Penelitian ini berkontribusi dalam mengembangkan sistem otomatis pemilahan sampah infeksius menggunakan teknologi *Convolutional Neural Network* (CNN) berbasis citra digital, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam identifikasi serta klasifikasi jenis sampah medis berbahaya. Dengan menerapkan metode deep learning, sistem ini mampu mengenali pola visual pada sampah infeksius secara real-time, sehingga dapat membantu fasilitas kesehatan dalam mengelola limbah medis dengan lebih aman dan sesuai standar regulasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mengurangi risiko kontaminasi, mempercepat proses pemilahan, serta memberikan solusi berbasis teknologi bagi pengelolaan limbah rumah sakit yang lebih efektif dan ramah lingkungan.

2 KAJIAN PUSTAKA

2.1 Sampah Infeksius

Menurut UU Nomor 18 Tahun 2008 tentang pengelolaan sampah, menyebutkan bahwa sampah merupakan permasalahan nasional sehingga pengelolaannya perlu dilakukan secara komprehensif dan terpadu dari hulu ke hilir agar memberikan manfaat secara ekonomi, sehat bagi masyarakat, dan aman bagi lingkungan, serta dapat mengubah perilaku masyarakat. Dari segi bentuk sampah dibagi menjadi tiga, yaitu sampah padat, sampah cair, dan sampah gas. Adapun pembagian sampah padat secara umum dapat dikategorikan sebagai sampah padat infeksius serta sampah padat non-infeksius (Amalia *et al.*, 2020).

Sampah infeksius berupa masker bekas pasien, bekas perban, tisu bekas, maupun bekas suntik pasien yang dapat memicu penularan penyakit. Sampah infeksius sangat berbahaya tidak hanya bagi petugas yang menangani sampah tersebut, namun juga bagi petugas kesehatan dan pengunjung. Tidak sedikit orang ketika berobat yang awalnya tidak terkena virus tetapi ketika sampai rumah memiliki gejala yang sama terhadap orang yang terkena virus. Untuk itu sangat penting bagaimana penanganan secara tepat dan benar untuk mengurangi penularan penyakit melalui media sampah. Bukan hanya bagi petugas saja pengelola sampah juga harus mengetahui bagaimana cara penanganan dan bisa membedakan antara sampah infeksius dan non-infeksius agar penularan dari media sampah bisa dikurangi.

2.2 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk membuat sketch pemrograman atau sebagai media untuk pemrograman pada board yang ingin diprogram. Software ini biasa digunakan untuk mengedit, membuat, mengupload ke board yang ditentukan, dan mengcoding program tertentu. Software ini, dapat memodelkan sifat dari parameter rangkaian analog dan digital. Kemampuan yang disediakan Arduino Ide adalah dapat memodelkan berbagai rancangan rangkaian, menguji suatu rangkaian dengan berbagai kemungkinan komponen, memeriksa sifat dari keseluruhan rangkaian dengan melakukan analisis AC / DC atau transient (Mahanin Tyas *et al.*, 2023).

2.3 Convolutional Neural Network

Convolutional Neural Network atau CNN merupakan pengembangan dari Multi Layer Perceptron (MLP) dan didesain untuk mengolah data dua dimensi. CNN termasuk dalam Deep Neural Network karena kedalaman jaringan yang tinggi dan banyak digunakan pada data citra. Dan juga CNN merupakan suatu layer yang memiliki susunan neuron 3D (lebar, tinggi, dan kedalaman). Lebar dan tinggi merupakan ukuran layer sedangkan kedalaman merupakan mengacu pada jumlah layer (P Prasetyo *et al.*, 2023). Secara umum, sebuah model CNN terdiri dari beberapa layer sebagai berikut:

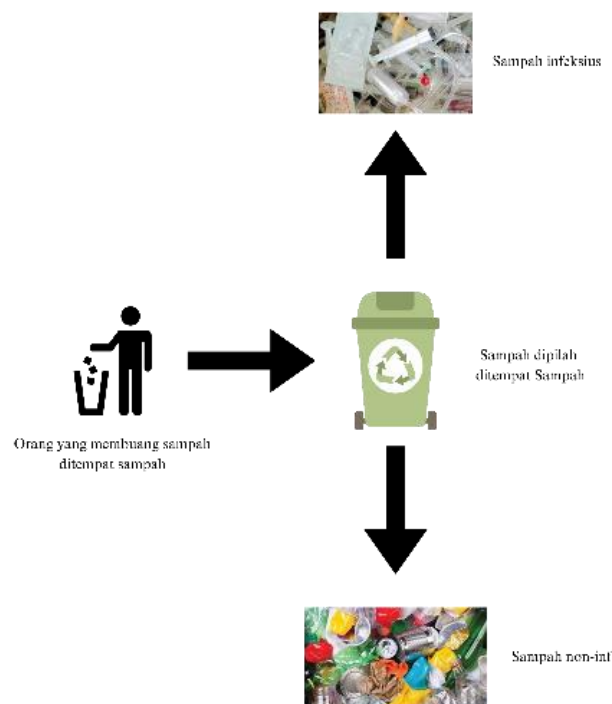
- a. Layer *input*: layer yang berfungsi membangkitkan *input* data.

- b. Layer *convolution*: layer ini berfungsi untuk operasi *convolution* terhadap sejumlah node menggunakan beberapa fitur.
- c. Layer *ReLU*: layer ini merupakan fungsi aktivisasi dari output layer sebelumnya.
- d. Layer *pooling*: layer ini berfungsi untuk melakukan sampling terhadap keluaran dari layer sebelumnya menghasilkan sebuah struktur dengan dimensi lebih kecil,
- e. Layer *full connected*: layer ini berfungsi untuk menghitung kelayaran dari layer terakhir modul *neural network*.

2.4 Pengolahan Citra

Citra adalah representasi dari suatu objek. Secara harafiah citra adalah gambar pada bidang dua dimensi. Citra memiliki peranan penting sebagai bentuk informasi visual. Citra mempunyai karakteristik yang tidak dimiliki oleh teks, yaitu citra kaya akan informasi (Panggabean, 2018). Seringkali citra mengalami penurunan mutu (degradasi), misalnya mengandung cacat (noise), warnanya terlalu kontras, kurang tajam, kabur, dan sebagainya. Citra seperti ini lebih sulit untuk diinterpretasi karena informasi yang disampaikan oleh citra tersebut berkurang. Agar lebih mudah diinterpretasi, maka citra tersebut perlu dimanipulasi menjadi citra baru yang memiliki kualitas lebih baik. Bidang studi yang menyangkut hal ini adalah pengolahan citra (Panggabean, 2018).

3 METODE PENELITIAN



Gambar 1. Metode Sistem Tempat Sampah

Gambar tersebut menggambarkan sistem pengelolaan sampah yang memisahkan limbah menjadi dua kategori utama: sampah infeksius dan non-infeksius. Proses dimulai dengan tindakan pengguna yang membuang sampah ke tempat sampah, menandai langkah awal dalam pembuangan limbah. Selanjutnya, sampah dipilah berdasarkan jenisnya, di mana limbah infeksius mencakup bahan berbahaya seperti limbah medis, sementara limbah non-infeksius terdiri dari sampah biasa yang tidak menimbulkan risiko kesehatan. Setelah dipisahkan, masing-masing kategori sampah diarahkan untuk diproses atau didaur ulang sesuai dengan prosedur yang tepat. Secara keseluruhan,

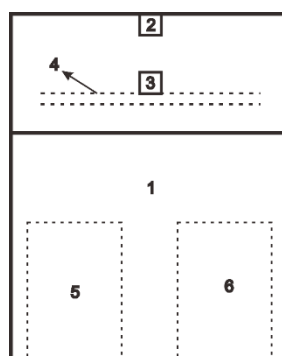
ilustrasi ini menekankan pentingnya manajemen limbah yang baik untuk mengurangi risiko kesehatan dan mendukung upaya daur ulang.

Metode penelitian ini menggunakan metode prototype yang memberikan kesempatan bagi pengembang dan pengguna untuk berinteraksi selama proses pengembangan sistem. Metode ini banyak digunakan karena memungkinkan model perangkat lunak yang akan dibuat dapat dengan mudah dimodelkan. Tahapan pertama dalam pengembangan sistem adalah komunikasi, yang melibatkan interaksi dengan Bapak Sugeng selaku petugas pengurus untuk menentukan sasaran hasil sistem dan mengidentifikasi kebutuhan serta lingkungan penggunaan sistem.

Tahap selanjutnya adalah perencanaan cepat, yang dilakukan dengan mengumpulkan data melalui wawancara dengan Bapak Sugeng serta referensi dari beberapa artikel. Data yang diperoleh mencakup kebutuhan alat, komponen, dan metode yang akan digunakan. Selanjutnya, dilakukan tahap pemodelan, di mana alat berupa tempat sampah otomatis dilengkapi dengan Esp32-Cam sebagai sensor kamera untuk mengenali kategori sampah dan diproses oleh servo untuk menentukan tempat pembuangan yang sesuai. Berikutnya adalah pembentukan prototype, yang melibatkan integrasi semua komponen yang telah disiapkan. Sistem dirancang untuk menggunakan Esp32-Cam yang terhubung dengan database untuk memastikan fungsionalitas alat berjalan sesuai dengan rencana. Setelah itu, dilakukan evaluasi untuk mengukur apakah sistem berfungsi sesuai yang direncanakan dan mengidentifikasi kekurangan atau kelebihanannya.

Komunikasi dengan wawancara dilakukan untuk mengumpulkan informasi yang lebih mendetail tentang pengelolaan sampah di klinik. Dari wawancara dengan Bapak Sugeng, diperoleh data tentang bagaimana sampah medis dipilah dan dikelola dengan baik melalui pemilahan langsung ke tempat sampah yang telah disediakan. Dalam perancangan, tahap pertama adalah analisis kebutuhan yang mencakup perangkat lunak dan perangkat keras seperti Arduino IDE, Impulse Edge, Esp32-Cam, motor servo, dan power supply. Berdasarkan wawancara sebelumnya, solusi alternatif yang diusulkan adalah pengembangan robot pemilahan sampah menggunakan CNN untuk mengatasi kekurangan alat yang ada.

Selain itu, dilakukan pengembangan model menggunakan metode Unified Modelling Language (UML) yang mencakup Use Case Diagram dan Activity Diagram untuk memetakan proses dengan lebih jelas. Blok diagram pada tempat sampah otomatis menggunakan Esp32-Cam dan dua motor servo untuk membedakan jenis sampah. Proses pengumpulan data dan model *Training* dilakukan dengan mengunggah gambar-gambar sampah medis untuk pelatihan model klasifikasi objek menggunakan CNN. Model ini dilatih untuk mengenali sampah seperti botol, masker, sarung tangan, dan suntikan, dengan data dibagi antara *Training* dan testing untuk meningkatkan akurasi. Terakhir, pemodelan hardware dilakukan untuk memperlihatkan desain tempat sampah otomatis, yang meliputi tampilan depan, Esp32-Cam, motor servo, dan dua penampungan untuk sampah infeksius dan non-infeksius. Pemodelan ini bertujuan untuk memastikan alat bekerja dengan baik serta meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah medis.



Gambar 2. Model Tempat Sampah

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Mode Training

Setelah proses model *Training* selesai, Edge Impulse Studio dapat langsung memberikan hasil akurasi setiap objek yang di-train. Hasil *Training* disajikan dalam bentuk *Confusion Matrix*. Berikut adalah hasil pengujian yang didapatkan peneliti saat *Training* model selesai.



Gambar 3. Hasil Model *Training* dalam bentuk *Confusion Matrix*

Dari matriks tersebut hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut:

1. BOTOL dengan akurasi 100%
2. MASKER dengan akurasi 100%
3. SARUNG TANGAN dengan akurasi 100%
4. SUNTIKAN dengan akurasi 90%
5. F1 Score 97.3%

Dari hasil *Training* model di atas dapat dikatakan bahwa BOTOL, MASKER, SUNTIKAN, dan SARUNG TANGAN mempunyai akurasi dan validasi yang sangat baik. Namun, untuk SUNTIKAN nilai akurasi masih di bawah rata-rata F1 Score. Hal ini disebabkan karena data sampel suntikan cukup kecil sehingga mengalami kendala saat proses labeling. Hal lain yang mempengaruhi adalah penggunaan RAM yang kecil akibat keterbatasan hardware yang dijadikan target deployment, yaitu ESP32-CAM yang mana hanya memiliki RAM sebesar 520kb sehingga sistem mengompres model yang di-train agar dapat di-deploy ke ESP32-CAM.

4.2 WhiteBox Testing

Tabel 1. Hasil Pengujian *WhiteBox Testing*

No	Coding	Hasil yang diharapkan	Hasil pengamatan
1	<pre>#include <sampah_inferencing.h> #include "edge-impulse-sdk/dsp/image/image.hpp" #include "esp_camera.h" #include <Servo.h></pre>	Library berhasil dicompile	Library berhasil di compile

No	Coding	Hasil yang diharapkan	Hasil pengamatan
2	unsigned long currentMillis = millis(); if (currentMillis – previousMillis >= interval) { previousMillis = currentMillis; // Reset waktu sebelumnya	Pembacaan sensor setiap 10 detik	Pembacaan sensor setiap 10 detik
3	if (strcmp(selected_label, “botol”) == 0 strcmp(selected_label, “masker”) == 0 strcmp(selected_label, “sarungtangan”) == 0) { Serial.println(“Servo bergerak ke 90 derajat”); myServo.write(90); // Servo ke posisi 90 derajat delay(1000); myServo.write(0); // Servo ke posisi 90 derajat	Pemilihan kategori sampah non-infektus	Pemilihan kategori sampah non-infektus
4	else if (strcmp(selected-label, “suntikan”) == 0 { Serial.println(“Servo bergerak ke 190 derajat”); myServo.write(180); // Servo ke posisi 90 derajat delay(1000); myServo.write(0); // Servo ke posisi 90 derajat	Pemilihan kategori sampah infektus	Pemilihan kategori sampah infektus

Sumber: Data Diolah, 2024

4.3 BlackBox Testing

Tabel 2. Hasil Pengujian *BlackBox Testing*

No	Skenario Pengujian	Input	Hasil yang diharapkan	Hasil pengamatan	Status
1	Indikator ESP32-CAM saat menyala	Tegangan 5V	Indikator LED berkedip	Indikator LED berkedip	Berhasil
2	Pengecekan Jalur PCB	Voltmeter	Terhubung, buzzer voltmeter bunyi	Terhubung, buzzer voltmeter bunyi	Berhasil
3	Pengecekan Servo	Tegangan 5V	Posisi kalibrasi servo pada 90 derajat	Posisi kalibrasi servo pada 0 derajat	Berhasil
4	Pengecekan Servo Sampah infektus	Objek sampah infektus	Servo bergerak 0 derajat	Servo bergerak 0 derajat	Berhasil
5	Pengecekan Servo Sampah non-infektus	Objek sampah non-infektus	Servo bergerak 180 derajat	Servo bergerak 180 derajat	Berhasil

Sumber: Data Diolah, 2024

4.4 Hasil *Real Time Classification* Sampah Medis pada ESP32 CAM

Model yang telah selesai dilatih dapat di-deploy ke perangkat seperti ESP32-CAM untuk proses klasifikasi. Proses deployment melibatkan pembuatan library Arduino yang diunggah ke ESP32-CAM melalui Arduino IDE setelah dihasilkan dari Edge Impulse Studio. Setelah program berhasil diunggah, ESP32-CAM dapat digunakan untuk melakukan demonstrasi klasifikasi objek dengan menempatkan sampah medis pada alas berwarna hitam. ESP32-CAM berhasil mendeteksi objek dari gambar dalam dataset testing dan menampilkan hasilnya di Serial Monitor Arduino IDE.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sistem

Objek	Hasil Klasifikasi	Akurasi	Jumlah Percobaan
Botol	Berhasil	83%	2 kali
Masker	Berhasil	80%	3 kali
Sarung Tangan	Berhasil	85%	2 kali
Suntikan	Berhasil	72%	6 kali

Sumber: Data Diolah, 2024

Dari hasil percobaan demonstrasi pengambilan gambar objek menggunakan ESP32- Cam melalui Edge Impulse Live Classification, dapat disimpulkan bahwa akurasi hasil model *Training* sangat mempengaruhi hasil pengujian klasifikasi pada praktik langsung. Jadi, semakin tinggi akurasi *Training* model dalam hal ini ditunjukkan dalam bentuk *F1 Score* dan *Confusion Matrix*, maka semakin akurat hasil klasifikasi objeknya. Maka dapat peneliti menyimpulkan beberapa poin yang membahas relevansi penelitian ini dengan penelitian terdahulu, yaitu:

1. ESP32- CAM dapat digunakan sebagai perangkat deteksi/klasifikasi objek meski memiliki spesifikasi yang cukup rendah yaitu hanya memiliki RAM sebesar 520 kb.
2. Arsitektur model CNN FOMO yang dimiliki Edge Impulse Studio sangat ringan yang terbukti dapat melakukan *Training* model hingga dapat men-deploy model pada perangkat microcontroller dengan spesifikasi rendah.

Platform AI Edge Impulse Studio sangat memudahkan AI/ML engineer dalam membuat sebuah proyek AI dengan tersedianya tools dan library yang cukup lengkap, mudah dipakai, dan ringan.

4.5 Hasil Integrasi *Real Time Classification* dengan Pergerakan Servo

Pada bagian ini, dibahas hasil integrasi antara proses klasifikasi real-time menggunakan ESP32-CAM dengan mekanisme pergerakan servo. Integrasi ini bertujuan untuk menghubungkan hasil klasifikasi objek dengan aksi pergerakan servo, sehingga setiap objek yang terdeteksi dapat memicu gerakan servo sesuai dengan aturan yang telah ditentukan. Algoritma perubahan program mencangkup:

1. Servo pada pin 15 ESP32 CAM
2. Delay 10 detik setiap pengambilan data
3. Data yang dicapture adalah data dengan presentase akurasi deteksi sampah yang paling tinggi
4. Penentuan kategori Infektus atau Non-Infektus
5. Jika Infektus Servo bergerak 90 derajat
6. Jika Non-Infektus Servo bergerak 180 derajat
7. *Repeat*
8. Selesai

Tabel 5. Keberhasilan Alat Keseluruhan

Objek	Kategori	Servo 90	Servo 180	Sesuai
Botol	<i>Non-Infektus</i>	Y	N	✓
Masker	<i>Infektus</i>	N	Y	✓
Sarung Tangan	<i>Infektus</i>	N	Y	✓
Suntikan	<i>Infektus</i>	N	Y	✓

Sumber: Data Diolah, 2024

Berdasarkan pengujian secara keseluruhan, dapat dikatakan bahwa sistem berfungsi dengan baik atau dengan Tingkat kesesuaian 100%. Hal ini mengindikasikan bahwa ESP32 cam dapat

memproses data hasil Edge Impulse dengan pergerakan servo dalam menggerakkan tutup tempat sampah. Penyesuaian hardware diperlukan dalam proses pembuatan tong sampah secara keseluruhan.

4.6 User Acceptance Testing

Pengujian menggunakan UAT (*User Acceptance Testing*) dilakukan kepada 5 orang pengurus di Klinik Srikandi, dengan memberikan masing masing 10 pertanyaan dimana jawaban dari pernyataan tersebut terdiri dari tingkatan yang dipilih. Pilihan dari jawaban UAT beserta bobot nilainya ditampilkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 6. Pernyataan Kuesioner UAT Tempat Sampah

No	Pernyataan	Jawaban					Jumlah
		A	B	C	D	E	
1.	Alat ini sesuai dengan kebutuhan dan harapan saya	0	5	0	0	0	5
2.	Alat ini sangat berguna	1	4	0	0	0	5
3.	Saya dapat menggunakan alat ini tanpa petunjuk tertulis	5	0	0	0	0	5
4.	Tidak ada kesulitan dalam menggunakan alat ini	3	2	0	0	0	5
5.	Sensor alat dapat mendeteksi jenis sampah dengan cepat	3	2	0	0	0	5
6.	Alat ini tidak membutuhkan sumber daya yang banyak	0	4	1	0	0	5
7.	Alat ini dapat secara otomatis memisahkan sampah ke dalam kategori <i>infeksius</i> dan <i>non-infeksi</i> secara akurat	1	4	0	0	0	5
8.	Saya mudah mempelajari cara kerja alat ini	2	3	0	0	0	5
9.	Alat ini bekerja sesuai apa yang saya inginkan	0	3	2	0	0	5
10.	Saya puas dengan alat ini	0	2	3	0	0	5

Sumber: Data Diolah, 2024

Data yang didapat dari kuesioner akan diolah dengan mengkalikan setiap poin dengan bobot yang telah ditentukan sesuai dengan tabel bobot nilai jawaban. Perhitungan bobot dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 7. Hasil Perhitungan Bobot Alat

Jawaban					Jumlah
A x5	B x4	C x3	D x2	E x1	
0	5	0	0	0	20
1	4	0	0	0	21
5	0	0	0	0	25
3	2	0	0	0	23
3	2	0	0	0	23
0	4	1	0	0	19
1	4	0	0	0	21
2	3	0	0	0	22
0	3	2	0	0	18
0	2	3	0	0	17

Sumber: Data Diolah, 2024

Berdasarkan data pada tabel 7 di atas menunjukkan bahwa dari 10 pernyataan yang dievaluasi, 7 pernyataan memiliki nilai bobot di atas 20, yang berarti persentase nilainya adalah 90%. Sementara itu, 3 pernyataan lainnya memiliki nilai bobot antara 15 dan 20, dengan persentase 70%. Nilai bobot yang tinggi pada mayoritas pernyataan menunjukkan bahwa responden cenderung memberikan penilaian yang lebih positif atau setuju terhadap pernyataan-pernyataan tersebut. Hal ini dapat diartikan bahwa aspek-aspek yang diukur oleh pernyataan-pernyataan tersebut dianggap penting dan relevan oleh responden. Sebaliknya, pernyataan dengan nilai bobot antara 15 dan 20 menunjukkan adanya keraguan atau ketidaksetujuan dari responden. Persentase 70% mengindikasikan bahwa pernyataan-pernyataan ini mungkin memerlukan perhatian lebih lanjut atau perbaikan dalam konteks yang diteliti.

Metode perhitungan bobot seperti ini sering digunakan dalam penelitian untuk mengukur tingkat kepentingan atau persetujuan terhadap suatu pernyataan. Menurut Santoso (2022), analisis perhitungan waktu dan biaya pekerjaan galian tanah menggunakan metode serupa untuk menentukan efisiensi proyek. Selain itu, penelitian oleh Sultra *et al.* (2024) juga menggunakan analisis kebutuhan alat mekanis dan biaya operasional untuk mencapai target produksi, yang melibatkan perhitungan bobot dalam evaluasi alat berat.

Dalam topik pembahasan tentang evaluasi alat bantu kerja, perhitungan bobot digunakan untuk menilai berbagai kriteria seperti ukuran, kemudahan pengendalian, dan kapasitas muatan. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Febrianti dan Zakia (2021), di mana analisis durasi dan perhitungan biaya penyusutan alat berat excavator dilakukan untuk menentukan efisiensi penggunaan alat. Dengan demikian, analisis nilai bobot dalam penelitian ini memberikan gambaran mengenai persepsi responden terhadap pernyataan yang diberikan. Pernyataan dengan nilai bobot tinggi menunjukkan aspek yang dianggap penting, sementara pernyataan dengan nilai bobot lebih rendah mungkin memerlukan evaluasi atau perbaikan lebih lanjut.

5 SIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan ESP32-CAM dengan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) berbasis library FOMO merupakan solusi yang efektif dan efisien untuk klasifikasi gambar sampah medis berdasarkan kategorinya. Teknologi ini menawarkan pendekatan yang sederhana namun tangguh dalam menangani klasifikasi visual dengan tingkat akurasi yang memadai. Keunggulan utama dari ESP32-CAM adalah kemampuannya untuk memproses data visual secara mandiri tanpa memerlukan perangkat keras tambahan yang mahal, menjadikannya solusi yang cocok untuk berbagai aplikasi di bidang pengelolaan limbah medis. ESP32-CAM memiliki desain yang sederhana, dengan biaya produksi dan pemrograman yang relatif rendah, sehingga memungkinkan adopsi yang lebih luas, terutama di lingkungan dengan sumber daya terbatas. Keunggulan lain dari perangkat ini adalah kemudahan penggunaannya, di mana pengguna dapat memprogram perangkat dengan cara yang intuitif, bahkan tanpa memerlukan keahlian mendalam dalam bidang pemrograman. Hal ini membuka peluang bagi rumah sakit, klinik, dan institusi kesehatan lainnya untuk mengadopsi teknologi ini sebagai bagian dari sistem pengelolaan sampah medis mereka. Selain itu, integrasi metode CNN berbasis library FOMO dalam ESP32-CAM semakin meningkatkan kemampuan perangkat dalam mengenali dan mengklasifikasikan gambar sampah medis secara akurat dan cepat. Pendekatan ini memanfaatkan kecerdasan buatan untuk mengolah data gambar secara efisien, memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik dalam pengelolaan limbah medis. Dengan mempertimbangkan efisiensi biaya, kemudahan implementasi, dan akurasi tinggi, penerapan ESP32-CAM dengan metode ini dapat menjadi solusi inovatif dalam mendukung pengelolaan sampah medis yang lebih ramah lingkungan dan efektif.

Di masa depan, penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan meningkatkan akurasi dan efisiensi sistem klasifikasi sampah medis menggunakan teknologi ESP32-CAM dan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) berbasis library FOMO. Integrasi dengan teknologi Internet of Things (IoT) dapat memungkinkan pemantauan dan pengelolaan limbah medis secara real-time,

memberikan solusi yang lebih cerdas dan otomatis. Selain itu, pengembangan algoritma yang lebih adaptif dan penerapan model yang lebih kompleks dapat meningkatkan kemampuan perangkat dalam mengenali berbagai jenis sampah medis dengan tingkat presisi yang lebih tinggi. Implementasi sistem ini di berbagai fasilitas kesehatan juga dapat dikombinasikan dengan kebijakan pengelolaan limbah yang lebih ketat untuk mendukung keberlanjutan lingkungan. Dengan demikian, pengembangan teknologi ini tidak hanya berkontribusi pada efisiensi pengelolaan limbah medis tetapi juga membuka peluang bagi inovasi lebih lanjut dalam pemanfaatan kecerdasan buatan untuk solusi lingkungan yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, V. *et al.* (2020) "Penanganan Limbah Infeksius Rumah Tangga Pada Masa Wabah COVID-19," *Lp2M*, 2, hal. 1–7. Tersedia pada: <http://digilib.uinsgd.ac.id/id/eprint/30736>.
- Anggraini, W. (2020) "Deep Learning Untuk Deteksi Wajah Yang Berhijab Menggunakan Algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN) Dengan TensorFlow," *Electoral Governance Jurnal Tata Kelola Pemilu Indonesia*, 12(2), hal. 6. Tersedia pada: <https://talenta.usu.ac.id/politeia/article/view/3955>.
- Fatmawati, K., Sabna, E. dan Irawan, Y. (2020) "Rancang Bangun Tempat Sampah Pintar Menggunakan Sensor Jarak Berbasis Mikrokontroler Arduino," *Riau Journal Of Computer Science*, 6(2), hal. 124–134.
- Hasbullah, A.W., Setiawan, E. dan Rachmad, A. (2023) "Evaluasi Keandalan Model Rekognisi Suara Burung Hama Menggunakan Platform Edge Impulse Pada Mikrokontroler Low Power," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer TRIAC*, 10(2), hal. 69–75. Tersedia pada: <https://doi.org/10.21107/triac.v10i2.22448>.
- Kurniati, K. (2021) "Penerapan Metode Prototype Pada Perancangan Sistem Pengarsipan Dokumen Kantor Kecamatan Lais," *Journal of Software Engineering Ampera*, 2(1), hal. 16–27. Tersedia pada: <https://doi.org/10.51519/journalsea.v2i1.89>.
- Mahanin Tyas, U. *et al.* (2023) "Implementasi Aplikasi Arduino Ide Pada Mata Kuliah Sistem Digital," *TEKNOS: Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi*, 1(1), hal. 1–9.
- Muhammad Yunus (2021) "PROTOTIPE SISTEM KEAMANAN KAMAR KOS BERBASIS INTERNET OF THINGS MENGGUNAKAN SENSOR PASSIVE INFRARED RECEIVER DENGAN ESP32-CAM DAN TELEGRAM SEBAGAI NOTIFIKASI (Studi Kasus : Kos Sianturi Air Dingin)," hal. 10–11.
- P Prasetyo, A.P. *et al.* (2023) "Sistem Pemilah Sampah Organik Berbasis Raspberry Pi Menggunakan Klasifikasi CNN Raspberry Pi Based Organic Waste Sorting System Using CNN Classification," *Jurnal Sisfotenika*, 13(1), hal. 76–90. Tersedia pada: <http://sisfotenika.stmikpontianak.ac.id/index.php/ST>.
- Panggabean, T.I. (2018) "PENDETEKSIAN DAN PENGENALAN WAJAH MANUSIA UNTUK PENINGKATAN KINERJA KAMERA PENGAMAN," *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 1(3), hal. 82–91.
- Priyaungga, B.A. *et al.* (2020) "Pengujian Black Box pada Aplikasi Perpustakaan Menggunakan Teknik Equivalence Partitions," *Jurnal Teknologi Sistem Informasi dan Aplikasi*, 3(3), hal. 150. Tersedia pada: <https://doi.org/10.32493/jtsi.v3i3.5343>.
- Puadi, O. dan Hambali, H. (2022) "Perancangan Alat Pemilah Sampah Otomatis," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 3(1), hal. 1–14. Tersedia pada: <https://doi.org/10.24036/jtein.v3i1.195>.
- Rafi, M.Y. *et al.* (2021) "Pengujian White Box Testing Menggunakan Teknik Loop Testing pada Aplikasi Sistem Informasi Perpustakaan (Studi Kasus SMKN 3 Kota Tangerang Selatan)," *Jurnal Sains, Teknologi dan Masyarakat*, 1(3), hal. 214–221.
- Rahman, A., Fauzi, A. dan Indra, J. (2023) "Klasifikasi Sampah Logam Dan Plastik Berbasis Raspberry Pi Dengan Metode Convolution Neural Network," *Scientific Student Journal for*

- Information, Technology and Science*, 4(1), hal. 1–6. Tersedia pada: <https://journal.ubpkarawang.ac.id/mahasiswa/index.php/ssj/article/view/711>.
- Safitri, I.M. (2021) “Implementasi Sistem Cerdas Pada Tempat Sampah Otomatis Dengan Pemilahan Jenis Sampah Organik, Anorganik, dan Logam,” *Industry and Higher Education*, 3(1), hal. 1689–1699. Tersedia pada: <http://journal.unilak.ac.id/index.php/JIEB/article/view/3845%0Ahttp://dspace.uc.ac.id/handle/123456789/1288>.
- Selan, I.M., Basuki, A. dan Arsyad, M. (2022) “Perancangan Kotak Sampah Otomatis Logam, Organik Dan Anorganik Berbasis IoT,” *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVII Tahun 2022 (ReTII)*, hal. 285–290.
- Sulistyorini, P. (2009) “Pemodelan Visual dengan Menggunakan UML dan Rational Rose,” *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK Volume*, XIV(1), hal. 23–29.
- Syarif, M. dan Nugraha, W. (2020) “Pemodelan Diagram Uml Sistem Pembayaran Tunai Pada Transaksi E-Commerce,” *JTIK (Jurnal Teknik Informatika Kaputama)*, 4(1), hal. 64–70. Tersedia pada: <https://doi.org/10.59697/jtik.v4i1.636>.
- .