

Implementasi *Monitoring dan Controlling* Lingkungan Budidaya Maggot Sebagai Pengurai Sampah Organik Berbasis *Machine Learning* dan *Internet Of Things*

1st Dendi Rifqi Hibatullah
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

dendirh@student.telkomuniversity.ac.id

4th Sinta Ramadani
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

sintaramadani@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Tazkia Rizkiani Putri
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

tazkiarputri@student.telkomuniversity.ac.id

5th Sofia Naning Hertiana
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

sofiananing@telkomuniversity.ac.id

3rd Marlia Putri
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

marliaputri@student.telkomuniversity.ac.id

6th Iman Hedi Santoso
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

imanhedis@telkomuniversity.ac.id

Abstrak— Maggot yang berasal dari larva *Black Soldier Fly* (BSF) banyak diteliti karena kandungan nutrisinya yang tinggi serta karakteristik biologisnya. Maggot ini berpotensi sebagai sumber protein alternatif untuk pakan ternak, seperti ayam dan lele. Namun, suhu dan kelembapan lingkungan sangat memengaruhi pertumbuhan dan kelangsungan hidupnya. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terintegrasi dengan teknologi *Machine Learning* untuk memantau dan mengendalikan suhu, kelembapan, serta volume sampah pada media budidaya maggot secara real-time. Sistem ini terhubung dengan aplikasi seluler untuk memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh. Perangkat menggunakan mikrokontroler Raspberry Pi 3B+ dan diprogram dengan bahasa Python. Data dari sensor diproses untuk mengontrol aktuator dan dikirimkan ke Firebase, kemudian ditampilkan dalam aplikasi mobile. Hasil menunjukkan bahwa budidaya dengan sistem IoT menghasilkan bobot 160 gram per 100 maggot, sedangkan metode konvensional hanya 100 gram per 100 maggot. Sensor DHT22 memiliki akurasi 97,06%, dan sensor kelembapan media mencapai 95,67%. Pengujian aplikasi menggunakan metode *System Usability Scale* (SUS) memperoleh skor rata-rata 74,5 yang menandakan tingkat kebergunaan yang baik. Maggot dengan sistem IoT mampu menguraikan sampah rata-rata 3,43 kg dalam 10 hari, dibandingkan 2,054 kg tanpa IoT. Kualitas layanan (QoS) menunjukkan throughput sebesar 204.795,86 bps, packet loss 0,22%, delay rata-rata 105,03 ms, dan jitter sebesar 6.151,71 ms.

Kata Kunci— *Black Soldier Fly, Internet of Things, Machine Learning, Mobile Application*

I. PENDAHULUAN

Maggot merupakan larva dari lalat tentara hitam (*Hermetia illucens*) atau *Black Soldier Fly* (BSF), yang berperan penting dalam budidaya sebagai pakan ternak karena kandungan nutrisinya yang tinggi. Selain itu, maggot juga berfungsi sebagai agen pengurai limbah organik seperti sampah dapur, rumah tangga, dan pasar. Proses penguraian ini menghasilkan sisa yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk kompos, dengan tingkat efisiensi penguraian mencapai 52–56% dari total berat sampah.

Keberhasilan dalam membudidayakan maggot sangat dipengaruhi oleh terciptanya kondisi lingkungan yang ideal, yaitu suhu berkisar antara 20°C hingga 36°C serta tingkat kelembapan antara 60% sampai 80%. Ketidaksiesuaian kondisi ini dapat menghambat pertumbuhan atau bahkan menyebabkan kematian maggot. Oleh karena itu, penting untuk memastikan bahwa bahan sampah yang digunakan bersifat alami dan tidak terkontaminasi zat berbahaya, serta menjaga kestabilan suhu dan kelembapan media budidaya.

Untuk mendukung efisiensi proses ini, dikembangkan sistem otomatis berbasis teknologi yang mampu memantau suhu dan kelembapan secara real-time, serta menggunakan *machine learning* untuk mendeteksi keberadaan sampah di area budidaya. Sistem ini tidak hanya menjaga kondisi ideal pertumbuhan maggot, tetapi juga memungkinkan pengelolaan sampah organik yang lebih presisi, mengurangi pemborosan, dan mendukung praktik pengolahan limbah yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

II. KAJIAN TEORI

A. *Internet of Things*

Internet of Things (IoT) merupakan suatu sistem jaringan yang menghubungkan berbagai benda fisik yang dilengkapi dengan identitas unik dan alamat IP. Dengan konektivitas tersebut, setiap objek mampu berinteraksi serta saling bertukar data mengenai kondisi lingkungan sekitar maupun informasi internalnya. IoT merupakan perkembangan teknologi yang dirancang untuk meningkatkan kualitas hidup manusia melalui pemanfaatan perangkat pintar dan sensor canggih yang terintegrasi dengan jaringan internet [1].

B. *Machine Learning*

Machine learning merupakan cabang lain dari ilmu komputer yang bertujuan merancang algoritma agar memungkinkan komputer untuk belajar dari data, sehingga sering disebut sebagai *learn from data*. Secara sederhana, pembelajaran mesin adalah proses pemrograman komputer menggunakan data historis untuk membangun model yang dapat mengeksplorasi informasi dari kumpulan data secara

optimal. Inti dari pembelajaran mesin adalah menciptakan model yang dapat merefleksikan pola-pola dalam data[2].

C. Convolutional Neural Network

Convolutional Neural Networks (CNN) merupakan jenis arsitektur jaringan saraf yang secara khusus dirancang untuk menangani data dengan struktur grid, seperti gambar yang tersusun dari piksel-piksel. CNN beroperasi dengan menggunakan filter atau kernel yang digeser di seluruh bagian gambar guna mengenali berbagai fitur, seperti garis tepi, tekstur, maupun pola tertentu[3].

D. Training Set, Validation Set, dan Testing Set

Dalam pengelompokan model *machine learning*, terdapat dua istilah penting yang sering dipakai seperti training dan testing. Proses training merupakan tahap dimana model dibangun dan disempurnakan, sedangkan proses testing adalah tahap dimana kinerja model dievaluasi. Dataset merupakan himpunan data yang digunakan, baik untuk membangun maupun mengevaluasi model *machine learning*.

Menurut Lukluk, pembagian dataset dapat dilakukan dengan proporsi (80%: 10%: 10%) atau (90%: 5%: 5%) untuk masing-masing set pelatihan, validasi, dan pengujian. Namun, jika jumlah data terbatas atau relatif kecil, proses validasi dapat diabaikan, sehingga data hanya dibagi menjadi dua bagian, yaitu set pelatihan dan set pengujian.

E. Confusion Matrix

		ACTUAL VALUE	
		1 (Positif)	0 (Negative)
PREDICTED VALUE	1 (Positif)	TP (TRUE POSITIF)	FP (FALSE POSITIVE)
	0 (Negative)	FN (FALSE NEGATIVE)	TN (TRUE NEGATIVE)

GAMBAR 1
Confusion Matrix

Confusion Matrix merupakan salah satu metode evaluasi yang digunakan untuk menilai akurasi hasil klasifikasi dari model *machine learning* berdasarkan algoritma yang diterapkan. Matriks ini menyajikan informasi tentang kinerja model dengan menampilkan jumlah prediksi yang benar maupun salah. Hasil prediksi dikategorikan ke dalam empat kelompok utama, yaitu true positive (prediksi benar untuk kelas positif), true negative (prediksi benar untuk kelas negatif), false positive (prediksi salah untuk kelas negatif sebagai positif), dan false negative (prediksi salah untuk kelas positif sebagai negatif)[4].

F. Mobile Application

Aplikasi mobile merupakan perangkat lunak yang dirancang khusus untuk dijalankan pada perangkat bergerak seperti smartphone, tablet, smartwatch, dan sejenisnya. Aplikasi ini dibuat melalui proses pemrograman menggunakan bahasa tertentu untuk menghasilkan software yang dapat berfungsi di perangkat mobile[5].

Dart adalah bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh Google dan dioptimalkan untuk pengembangan aplikasi lintas platform. Bahasa ini bersifat berorientasi objek dan berbasis kelas, dengan gaya sintaks yang menyerupai bahasa C. Dart dapat dikompilasi ke dalam kode asli maupun JavaScript, serta mendukung fitur-fitur modern seperti interface, mixin, kelas abstrak, generik reified, dan inferensi tipe[6].

Flutter sendiri merupakan SDK (Software Development Kit) yang juga dikembangkan oleh Google, digunakan untuk membangun aplikasi mobile Android dan iOS hanya dari satu basis kode (single codebase). Flutter menawarkan kemudahan dan kecepatan dalam membuat antarmuka pengguna (UI) yang menarik, menambahkan fitur baru, serta melakukan debugging[7].

Sementara itu, Firebase adalah layanan backend milik Google yang menyediakan beragam fitur seperti otentikasi pengguna, penyimpanan data, database real-time, hosting, notifikasi, dan lainnya. Firebase sangat mendukung proses pengembangan aplikasi modern dengan memberikan solusi backend yang lengkap dan efisien.

Kombinasi antara Flutter dan Dart yang menyajikan performa tinggi serta kemudahan dalam pengembangan antarmuka, dengan Firebase sebagai pendukung backend yang andal, menjadi pilihan ideal dalam membangun aplikasi mobile, terutama untuk sistem pemantauan mandiri di bidang layanan kesehatan yang membutuhkan efisiensi, kinerja tinggi, serta keamanan data yang kuat.

$$Akurasi = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

$$Presisi = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

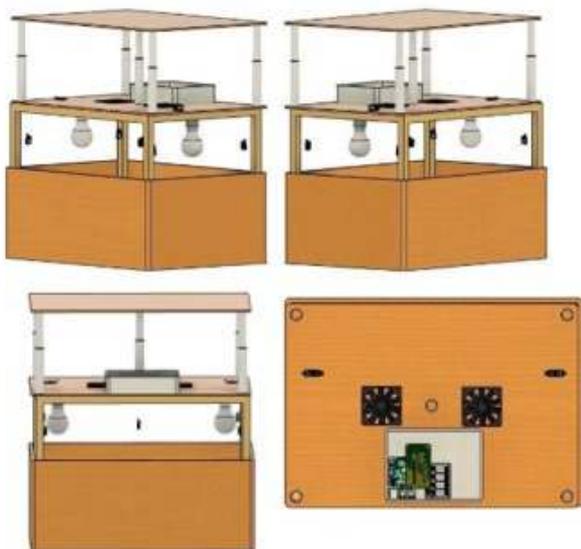
$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

Di dalam confusion matrix terdapat empat elemen utama, yaitu True Positive (TP), True Negative (TN), False Positive (FP), dan False Negative (FN). Keempat elemen ini digunakan untuk menghitung metrik evaluasi seperti akurasi, presisi, dan recall. Akurasi menunjukkan seberapa banyak prediksi model yang benar, presisi mengukur ketepatan model saat memprediksi kelas positif, recall menunjukkan seberapa baik model mengenali data positif. Dengan confusion matrix, kelebihan dan kekurangan model dapat dipahami secara lebih menyeluruh.

III. METODE

A. Desain Solusi Sistem

Ilustrasi berikut menampilkan rancangan kotak budidaya maggot yang telah dilengkapi sensor DHT22, Sensor Soil Moisture Hygrometer. Serta dilengkapi kamera, kipas, lampu, dan pompa. Desain ini dirancang untuk memungkinkan pemantauan dan pengaturan kondisi lingkungan secara otomatis dan *real-time*.



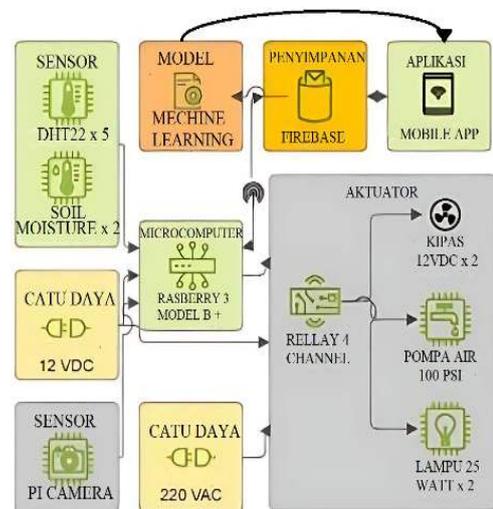
GAMBAR 2
DHT22

Untuk memantau suhu lingkungan, sistem ini dilengkapi dengan lima unit sensor DHT22. Empat sensor ditempatkan di masing-masing sudut kandang, sementara satu sensor lainnya berada di bagian tengah. Setiap sensor diletakkan dengan ketinggian 5 cm dari dasar kandang, berjarak 25 cm dari lampu, serta 30 cm dari kipas, guna memastikan akurasi pengukuran suhu di seluruh area kandang. Sementara itu, kelembapan media dipantau menggunakan dua sensor soil moisture hygrometer yang dipasang di sisi kiri dan kanan kandang agar hasil pembacaan kelembapan lebih seimbang dan representatif.

Pengaturan suhu didukung oleh dua buah lampu berdaya 25 watt yang diletakkan di sisi kanan dan kiri bagian atap kandang, masing-masing pada jarak 10 cm dari tepi. Untuk mendinginkan suhu lingkungan, digunakan dua kipas 12VDC yang terpasang pada sisi kanan dan kiri kandang, masing-masing berjarak 15 cm dari dinding. Sedangkan

untuk menjaga kelembapan media, sistem menggunakan satu pompa air bertenaga 200VDC yang terhubung ke dua spray nozzle. Nozzle ini digantung pada ketinggian 25 cm dari dasar kandang dan diletakkan pada posisi 15 cm dari sisi kanan dan kiri, sehingga mampu menyemprotkan air secara merata demi menjaga kelembapan lingkungan budidaya maggot secara optimal.

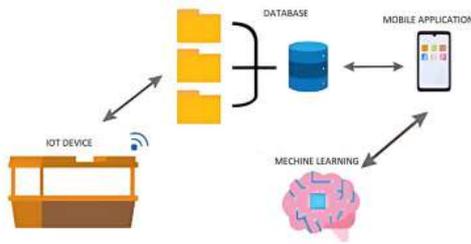
B. Diagram Blok



GAMBAR 3
Blok Diagram

Gambar di atas menyajikan blok diagram dari solusi sistem yang diusulkan dan telah terpilih untuk diimplementasikan. Sistem ini memiliki beberapa komponen masukan, yaitu sensor DHT22 dan sensor soil moisture hygrometer, yang berfungsi untuk mengukur kondisi lingkungan pada area budidaya maggot. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan Pi Camera yang bertugas menangkap citra maggot BSF sebagai bagian dari dukungan proses pengolahan data berbasis *machine learning*. Sistem memperoleh daya melalui catu daya yang berperan sebagai sumber energi utama.

Seluruh data yang diperoleh dari sensor akan dikirimkan oleh mikrokontroler ke Firebase melalui koneksi internet. Data tersebut selanjutnya ditampilkan pada aplikasi seluler, sehingga pengguna dapat memantau dan mengendalikan sistem secara *real-time*. Di samping itu, Raspberry Pi 3 juga memproses data yang masuk dan menghasilkan keluaran berupa kendali terhadap aktuator. Keluaran sistem ini dikendalikan melalui modul relay 4 channel yang terhubung dengan dua unit lampu, dua unit kipas, dan satu unit pompa air. Ketiga aktuator tersebut berfungsi untuk menjaga kestabilan suhu serta kelembapan media dalam lingkungan budidaya maggot.

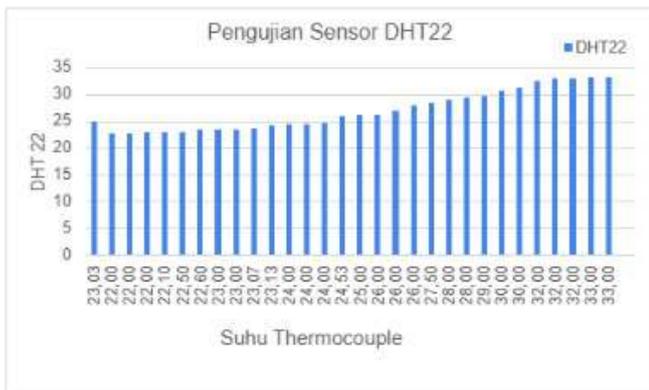


GAMBAR 6 Implementasi

V. PENGUJIAN

A. Pengujian Sensor

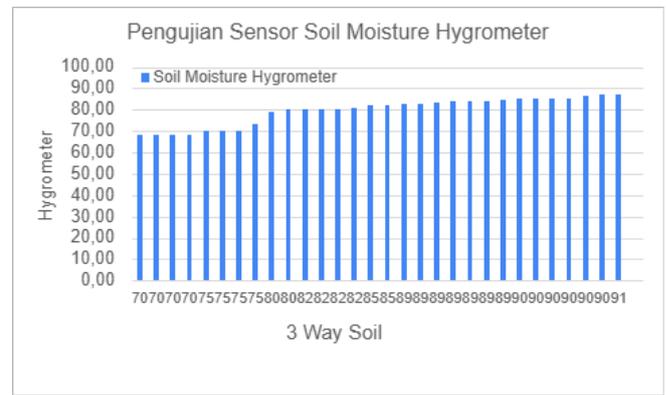
Pengujian sensor untuk mengetahui tingkat eror dengan cara melakukan perbandingan hasil nilai sensor dengan alat ukur lain. Eror adalah perbedaan antara hasil nilai pengukuran sensor dengan nilai sebenarnya yang di dapat dari alat ukur. Dengan nilai eror didapatkan dari selisih antara hasil nilai sensor dengan alat ukur, dan persentase eror didapatkan dari nilai eror dibagi nilai sensor di kali 100%. Akurasi merupakan kedekatan nilai yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya. Untuk mengetahui tingkat akurasinya didapatkan dari 100% dikurang dengan hasil rata-rata persentase eror.



GAMBAR 7 Hasil Pengujian Sensor DHT22

Dari gambar 5.1, pengujian sensor DHT22 dilakukan sebanyak 1 kali percobaan dan mendapatkan 30 sampel suhu. Berdasarkan gambar tersebut didapatkan nilai error, rata-rata persentase error, dan tingkat akurasi sensor suhu sebagai berikut:

- Rata-rata error: 0,8°C
- Rata-rata persentase error: 2,9367%
- Tingkat akurasi sensor suhu: 97,0633%



GAMBAR 8 Pengujian Sensor soil Moisture Hygrometer

Dari Gambar di atas, pengujian sensor soil moisture hygrometer dilakukan sebanyak 1 kali percobaan dan mendapatkan 30 sampel kelembapan. Berdasarkan gambar tersebut didapatkan nilai error, rata-rata persentase error, dan tingkat akurasi sensor suhu dilampirkan sebagai berikut:

- Rata-rata error: 3,475°C
- Rata-rata persentase error: 4,3323%,
- Tingkat akurasi sensor kelembapan: 95,66%.

B. Pengujian Aktuator

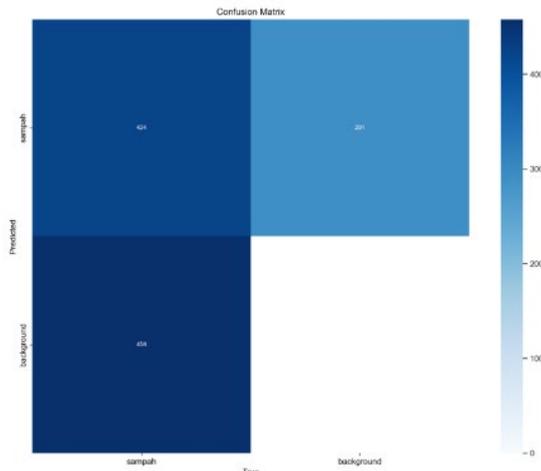
TABEL 1 Pengujian Aktuator

Status	Lampu		Kipas		Pompa	
	X < 20°	X ≥ 20°	X < 36°	X ≤ 36°	Y > 60%	60% < Y < 80%
Nyala	✓			✓	✓	
Mati		✓	✓			✓
Keterangan	Sesuai		Sesuai		Sesuai	

Berdasarkan data pada tabel, variabel X merepresentasikan nilai suhu, sedangkan variabel Y menunjukkan tingkat kelembapan media. Pengujian terhadap aktuator dilakukan pada kondisi suhu sekitar ± 20°C. Saat menguji lampu, batu es digunakan untuk menurunkan suhu di sekitar sensor. Hasilnya, lampu menyala secara otomatis ketika suhu turun di bawah 20°C dan akan mati kembali saat suhu mencapai 20°C atau lebih. Dalam kondisi suhu stabil di sekitar ± 20°C, lampu mampu menaikkan suhu menjadi ± 23°C dalam waktu sekitar 15 menit.

Untuk pengujian kipas, digunakan lilin guna menaikkan suhu di sekitar sensor. Kipas secara otomatis aktif saat suhu melebihi 36°C dan akan mati kembali jika suhu turun di bawah ambang tersebut. Sedangkan pada pengujian pompa air, sistem diuji pada kelembapan awal 0%. Pompa akan menyala otomatis hingga kelembapan mencapai 60%, kemudian mati secara otomatis setelah nilai tersebut tercapai. Dalam pengujian sistem secara manual, seluruh aktuator terbukti dapat berfungsi sesuai dengan parameter suhu dan kelembapan yang telah ditentukan sebelumnya.

C. Hasil Confusion Matrix



GAMBAR 9
Hasil Confusion Matrix

Pada Gambar di atas menunjukkan confusion matrix untuk dataset sampah organik. Kotak biru menunjukkan klasifikasi yang benar (sampah), sedangkan kotak putih menunjukkan kesalahan klasifikasi. Sumbu horizontal menunjukkan label sebenarnya, dan sumbu vertikal menunjukkan hasil prediksi model. Terdapat 424 data yang benar diklasifikasikan sebagai sampah (TP), 291 data sampah salah diklasifikasikan sebagai latar belakang (FN), dan 458 data latar belakang salah diklasifikasikan sebagai sampah (FP). Nilai TN tidak terlihat, kemungkinan nol.

Berdasarkan data tersebut, akurasi model sebesar 36,14%, presisi 48,07%, dan recall 59,29%. Ini menunjukkan bahwa meskipun akurasi rendah, model cukup baik dalam mengenali data sampah (recall lebih tinggi dari presisi).

VI. KESIMPULAN

Pada Aplikasi mobile berperan penting dalam menyediakan akses kendali dan pemantauan jarak jauh, memungkinkan pengguna untuk melihat data suhu, kelembapan, serta hasil deteksi kamera secara real-time. Pengguna juga dapat mengaktifkan atau menonaktifkan aktuator seperti kipas dan pompa secara manual dari aplikasi, atau membiarkan sistem bekerja secara otomatis sesuai logika kontrol yang telah ditentukan.

Berdasarkan pengujian selama 10 hari, sistem monitoring dan pengendalian lingkungan budidaya maggot yang dikembangkan berhasil berfungsi dengan baik sesuai tujuan penelitian. Sensor DHT22 menunjukkan akurasi pembacaan suhu sebesar 97,06%, sedangkan sensor kelembapan mencapai akurasi 95,67%, yang mendukung pemantauan kondisi lingkungan budidaya secara akurat dan stabil. Aplikasi mobile memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan serta aktuator secara real-time, baik secara otomatis maupun manual.

Fitur deteksi visual berbasis machine learning mampu mengenali keberadaan sampah dan menampilkannya dalam bentuk persentase serta status (seperti "Sampah masih cukup, tidak perlu diisi" dan "Sampah sudah sangat sedikit, perlu diisi"), sehingga pengguna dapat menyesuaikan pemberian pakan secara lebih efisien. Meskipun akurasi model deteksi hanya sebesar 36,14%, nilai *recall* yang lebih tinggi (59,29%) menunjukkan bahwa model cukup andal dalam mengenali keberadaan sampah, meskipun masih terdapat sejumlah prediksi yang kurang tepat. Secara keseluruhan, penerapan sistem ini meningkatkan ketepatan waktu dalam penambahan sampah, sehingga proses penguraian oleh maggot dapat berlangsung lebih optimal. Dengan manajemen pakan yang lebih cermat, sistem ini berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi penguraian sampah hingga 67% dibandingkan metode konvensional, serta membantu menjaga stabilitas lingkungan yang berdampak positif pada pertumbuhan maggot. Dengan menggabungkan IoT, *machine learning*, dan *mobile app*, sistem ini terbukti mendukung pengelolaan sampah organik yang lebih efisien, praktis, dan berkelanjutan. Untuk pengembangan selanjutnya, peningkatan akurasi model, kestabilan jaringan, dan integrasi dashboard web menjadi rekomendasi utama guna menyempurnakan performa dan skalabilitas sistem.

REFERENSI

- [1] J. C. F. Van, P. E. Tham, H. R. Lim, K. S. Khoo, J.-S. Chang, and P. L. Show, "Integration of Internet-of-Things as sustainable smart farming technology for the rearing of black soldier fly to mitigate food waste," *J Taiwan Inst Chem Eng*, vol. 137, p. 104235, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2022.104235>.
- [2] D. Kurniawan, *Pengenalan machine learning dengan python*. Elex Media Komputindo, 2022..
- [3] M. Lukluk, "PENGAGABUNGAN DATA AKADEMIK BERBASIS ENTITY RESOLUTION MENGGUNAKAN MARKOV LOGIC NETWORKS," 2018.
- [4] N. Nurwanda, N. Suarna, and W. Prihartono, "Penerapan Nlp (Natural Language Processing) Dalam Analisis Sentimen Pengguna Telegram Di Playstore," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 8, no. 2, pp. 1841–1846, 2024.
- [5] A. Fau and S. Artikel, "B E R B A K T I Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat Pelatihan Pengenalan Dasar Framework Flutter dalam Pembangunan Aplikasi Mobile Informasi Artikel A B S T R A K," 2024.
- [6] W. Andini, R. D. Masitoh, C. C. Harati, N. N. K. Sari, and V. H. Pranatawijaya, "IMPLEMENTASI SISTEM JUAL BELI KOPI BERBASIS MOBILE ANDROID DENGAN PENGGUNAAN API OPENAI UNTUK GENERATE DESKRIPSI PRODUK KOPI," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 8, no. 4, pp. 7604–7607, 2024.M. Young, *The Technical Writer's Handbook*. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [7] R. Syaputra and Y. P. W. Ganda, *Happy Flutter: Membuat Aplikasi Andorid dan iOS dengan Mudah menggunakan Flutter-UDACODING*. Udacoding, 2019.D. P. Kingma and M. Welling, "Auto-encoding variational Bayes," 2013, arXiv:1312.6114. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1312.6114>