

Implementasi Perangkat Pemantauan dan Pengendalian Lingkungan Budidaya Maggot sebagai Pengurai Sampah Organik Berbasis *Machine Learning* dan *Internet of Things*

1st Marlia putri
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

marliaputri@student.telkomuniversity.a
c.id

2nd Sofia Naning Hertiana
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

sofiananing@student.telkomuniversity.
ac.id

3rd Iman Hedi Santoso
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

imanhedis@student.telkomuniversity.a
c.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%. Ketidaksiharian 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. *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. Rancangan Sistem

Sistem monitoring dan kontrol budidaya maggot yang dikembangkan terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu sensor suhu dan kelembapan (DHT22 dan soil moisture sensor), kamera berbasis Raspberry Pi, mikrokontroler Raspberry Pi 3B+, Firebase Realtime Database sebagai media penyimpanan berbasis cloud, serta aplikasi mobile yang dibangun menggunakan framework Flutter.

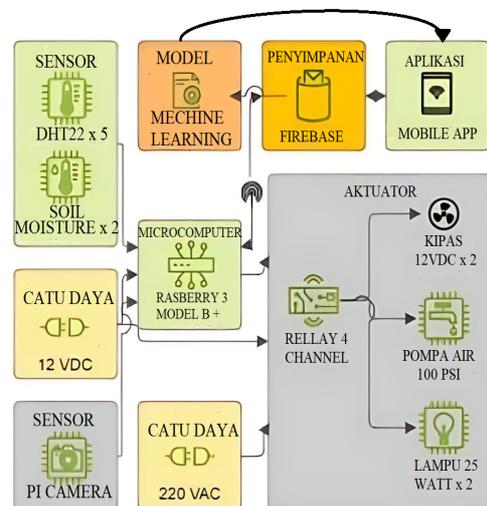
Sensor digunakan untuk melakukan akuisisi data lingkungan secara periodik, sementara kamera bertugas menangkap citra media budidaya yang selanjutnya dianalisis menggunakan model *machine learning* guna mendeteksi keberadaan sampah secara otomatis. Data hasil pengukuran dan klasifikasi citra dikirim ke Raspberry Pi untuk diproses, kemudian disinkronkan secara real-time ke Firebase Realtime Database.

Firebase dipilih karena mendukung sinkronisasi data dua arah antara perangkat IoT dan aplikasi mobile, serta mampu

menangani penyimpanan data secara efisien dan responsif. Informasi yang disimpan mencakup suhu, kelembapan, status aktuator (lampu, kipas, dan pompa), hasil klasifikasi visual sampah dalam bentuk persentase dan status, serta waktu pencatatan.

Aplikasi mobile yang terintegrasi dengan Firebase memungkinkan pemantauan kondisi budidaya secara langsung dan pengendalian aktuator dari jarak jauh. Sistem ini juga dilengkapi dengan logika otomatisasi berbasis ambang batas, misalnya: lampu akan menyala ketika suhu turun di bawah 20°C, kipas akan aktif saat suhu melebihi 36°C, dan pompa air akan menyemburkan air apabila kelembapan media kurang dari 60%. Seluruh aktivitas terekam dalam database, sehingga memungkinkan analisis performa sistem dan penyempurnaan lebih lanjut di masa mendatang.

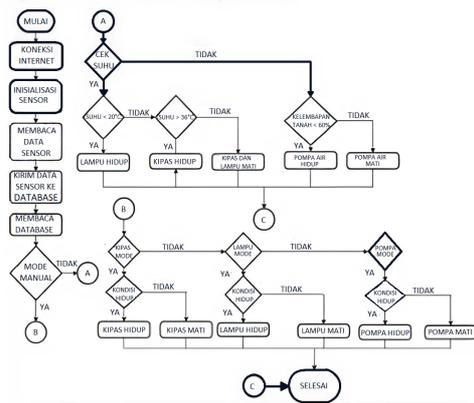
B. Diagram Blok



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.

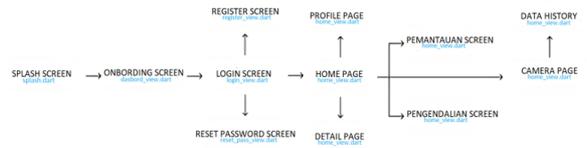
C. Flowchart Sub Sistem Perangkat Keras



Sistem ini dirancang untuk memantau dan mengatur suhu serta kelembapan pada lingkungan budidaya maggot secara otomatis. Mikrokontroler berfungsi sebagai penghubung antara sistem dan jaringan internet, memungkinkan data suhu yang terekam dikirim secara real-time ke platform Firebase. Dalam proses pemantauan suhu, digunakan sensor DHT22 yang memiliki kemampuan deteksi suhu lingkungan dengan tingkat akurasi tinggi. Sementara itu, pengaturan suhu dilakukan melalui dua jenis aktuator, yaitu lampu sebagai pemanas dan kipas sebagai pendingin.

Lampu akan diaktifkan secara otomatis apabila suhu terdeteksi berada di bawah 20°C, berfungsi sebagai pemanas tambahan. Sebaliknya, jika suhu melebihi 36°C, kipas akan menyala untuk menurunkan suhu ke tingkat yang ideal. Kedua aktuator ini akan dinonaktifkan apabila suhu berada dalam kisaran optimal, yakni antara 20°C hingga 36°C, guna menjaga kestabilan suhu dalam lingkungan budidaya maggot BSF. Untuk pengendalian kelembapan, sistem memanfaatkan pompa air dan kipas sebagai aktuator. Pompa air akan secara otomatis diaktifkan untuk menyempatkan air apabila tingkat kelembapan media terdeteksi di bawah 60%. Sebaliknya, ketika kelembapan sudah berada dalam kisaran ideal, yaitu antara 60% hingga 80%, pompa akan dinonaktifkan. Mekanisme ini dirancang untuk menjaga kondisi media tetap sesuai dengan kebutuhan optimal bagi pertumbuhan maggot BSF.

D. Framework Sub Sistem Aplikasi Seluler

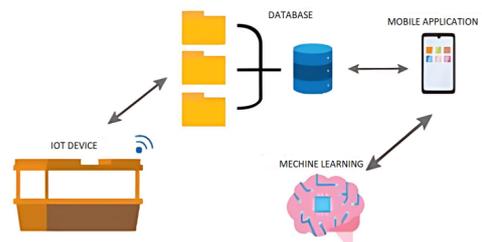


Sistem ini dirancang agar terintegrasi dengan aplikasi seluler guna mendukung proses pemantauan dan pengendalian budidaya maggot Black Soldier Fly (BSF) berbasis Internet of Things (IoT). Melalui aplikasi, pengguna dapat memilih perangkat yang ingin dipantau. Fitur monitoring memungkinkan pengguna untuk melihat data kondisi lingkungan budidaya secara real-time, termasuk suhu, kelembapan media, serta status ketersediaan sampah organik sebagai pakan maggot BSF. Pada fitur kontrol, aplikasi menyediakan dua mode pengoperasian, yaitu mode otomatis dan mode manual. Dalam mode otomatis, aktuator akan bekerja berdasarkan parameter yang telah ditentukan dan nilai yang terdeteksi oleh sistem. Sementara itu, pada mode manual, pengguna dapat mengendalikan aktuator secara langsung melalui tombol sakelar yang tersedia dalam aplikasi. Setiap instruksi atau perintah dari pengguna akan diteruskan ke sistem melalui platform Firebase untuk diproses lebih lanjut oleh mikrokontroler.

IV. IMPLEMENTASI

A. Implementasi

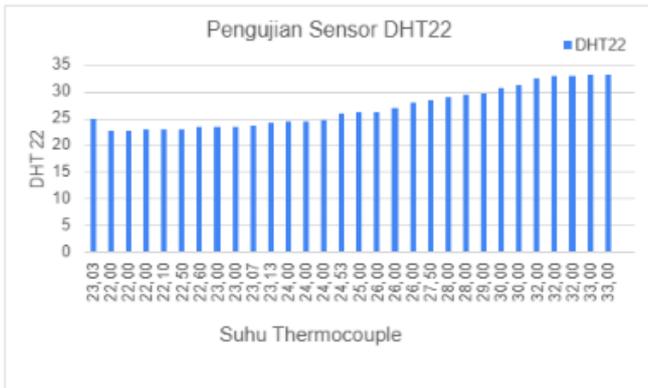
Optimalisasi budidaya maggot dapat dicapai melalui penerapan teknologi seperti *Internet of Things (IoT)*, *machine learning*, dan aplikasi mobile. Sensor IoT digunakan untuk memantau parameter penting seperti suhu dan kelembapan media budidaya. Data yang diperoleh dari sensor tersebut dapat diakses melalui aplikasi mobile yang telah terintegrasi dengan sistem *machine learning*. Penerapan teknologi ini mampu meningkatkan efisiensi, efektivitas, serta kualitas hasil budidaya maggot.



V. PENGUJIAN

A. Pengujian Black Box

Pengujian Black Box adalah proses pengujian fungsionalitas suatu perangkat lunak atau aplikasi tanpa harus mengetahui detail struktur kode aplikasi. Dalam pengujian hanya memerhatikan bagaimana aplikasi berfungsi secara fungsional dan bagaimana aplikasi berinteraksi dengan pengguna. Dalam penelitian sebelumnya mengatakan bahwa pengujian Black Box cenderung menemukan hal-hal seperti, fungsi yang tidak benar, antarmuka yang tidak sesuai, kesalahan struktur data dan akses basis data, kesalahan performansi, dan kesalahan inialisasi dan terminasi



B. Pengujian System Usability Scale (SUS)

System Usability Scale (SUS) merupakan metode yang digunakan untuk menilai suatu produk dengan mengukur tingkat usability. Aspek usability merupakan salah satu aspek penting dalam keberhasilan sebuah produk atau layanan dan berfungsi sebagai indikator penerimaan produk dan layanan, seperti perangkat keras, perangkat lunak, situs web, aplikasi seluler dan sistem operasi.

No	Nama Penguji	Pertanyaan										Skor SUS
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
1	Rahyan Surya Ramadhan	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4	50
2	Muhammad Tsabit	5	1	4	1	4	2	5	1	5	1	92,5
3	Garin Ari Purnomo	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	87,5
4	Yugo Pratama	3	3	5	2	5	2	5	1	5	1	85
5	Yulintyandra Puja A	5	4	4	5	4	5	4	5	5	4	47,5
6	Aisyah Nurul Azkia	5	5	5	1	5	1	5	1	5	4	82,5
7	Nabila Shofa	4	1	4	4	1	4	1	4	1	1	57,5
8	Mochammad Yoga Sutomo	4	1	4	4	4	2	5	1	5	2	80
9	Sebastian Surya Darma	5	4	5	3	5	1	5	1	5	2	85
10	Khoerunisa Alfin	5	4	5	3	5	2	4	2	5	2	77,5
11	Aziis Muslim	5	3	4	2	3	5	2	5	2	3	45
12	Isep Sariip Hidayat	1	1	4	1	4	3	5	1	3	3	70
13	Dedi Sadikin	2	4	3	4	2	4	2	3	2	3	32,5
14	Endang Dimnati	5	3	5	4	1	5	3	5	5	5	42,5
Rata-rata skor SUS												66,78

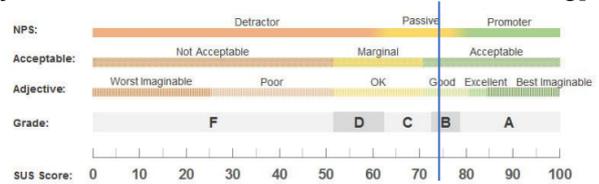
Berdasarkan data pada tabel, akan dihitung menggunakan System Usability Scale (SUS), setiap pertanyaan dengan nomor ganjil dan genap memiliki aturan dalam perhitungannya. Untuk setiap pertanyaan bernomor ganjil nilainya akan dikurangi satu, sementara untuk setiap pertanyaan bernomor genap, nilai 5 akan dikurangi dengan nilainya a. Rumus perhitungan SUS adalah sebagai berikut:

$$x = (\sum(P(2i - 1) - 1) 0 i=1 + (5 - P(2i))) \times 2,5$$

Dari persamaan diatas, x merupakan nilai skor SUS P(i) merupakan pertanyaan ke-i . Langkah selanjutnya adalah menghitung rata-rata skor SUS dari semua responden dengan menjumlahkan semua skor SUS dan membaginya dengan jumlah responden. Dengan rumus sebagai berikut:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

Dari persamaan diatas x merupakan nilai rata-rata skor SUS, $\sum x$ merupakan jumlah skor SUS yang sudah dihitung pada Persamaan 5.1 dan untuk n adalah jumlah penguji. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan maka diperoleh rata-rata skor SUS 66,78, skor tersebut akan digunakan untuk menentukan tingkat keberhasilan aplikasi dalam tiga aspek acuan yaitu Acceptability, Grade Scale dan Adjective Rating[38]



Berdasarkan Gambar diatas, aplikasi GOMA berada pada tingkat acceptable dalam kategori "Acceptability". aplikasi ini juga nilai "C" pada kategori "Grade" dan memiliki penilaian "OK", yang berarti bahwa aplikasi ini masih layak untuk digunakan

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, "PENGABUNGAN 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>