



Pengembangan alat praktik motor listrik untuk pertanian pintar dengan Wokwi, ESP32-CAM, Edge Impulse dan Protokol MQTT

Dian Artanto ^{1,*}, Eko Aris Budi Cahyono ², Pippie Arbiyanti ³

Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta, Indonesia.

¹ dian.artanto@usd.ac.id; ² eko_aris@usd.ac.id; ³ pipie@usd.ac.id.

*Correspondent Author

Received: 21 July 2024

Revised: 5 November 2024

Accepted: 21 January 2025

KATAKUNCI

Pertanian Pintar
Internet of Things
Kecerdasan Buatan
ESP32-CAM
Alat Praktik

KEYWORDS

Smart Agriculture
Internet of Things
Artificial Intelligence
ESP32-CAM
Practice Tools

ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada pengembangan alat praktik motor listrik jarak jauh untuk mendukung pertanian pintar dengan mengintegrasikan teknologi *Internet of Things (IoT)* dan *Artificial Intelligence (AI)*. Sistem ini menggunakan Wokwi untuk membuat simulasi dan mengontrol rangkaian motor listrik, ESP32-CAM untuk mengambil dan mengolah gambar, Edge Impulse untuk menerapkan pembelajaran mesin pada ESP32-CAM, dan protokol MQTT untuk melakukan komunikasi data jarak jauh. Motor listrik digunakan untuk mensimulasikan mekanisme irigasi dan pemupukan yang dikendalikan secara otomatis berdasarkan hasil pembelajaran mesin dari gambar yang diambil oleh ESP32-CAM. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian pengembangan dengan pendekatan berbasis eksperimen dan pengujian perangkat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat praktik ini berhasil mengontrol sebuah motor listrik AC 3 fase dan 3 buah lampu pilot secara jarak jauh berdasarkan 4 tipe tekstur tanah, yang terdiri dari tanah liat, lanau, lempung, dan pasir. Keempat tipe tekstur tanah tersebut berhasil dikenali dengan pembelajaran mesin Edge Impulse pada ESP32-CAM dengan F1 Score sebesar 100% untuk model klasifikasi dan nilai ketepatan prediksi sebesar 1.00 untuk tanah liat, 0,76 untuk lanau, 0,65 untuk lempung, dan 0,58 untuk pasir.

Development of electric motor practice tools for smart agriculture with Wokwi, ESP32-CAM, Edge Impulse, and MQTT Protocol

This study focuses on the development of an electric motor practice tool to support smart agriculture by integrating Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI) technologies. The system utilizes Wokwi to simulate and control an electric motor circuit, ESP32-CAM to capture and process images, Edge Impulse to apply machine learning to the ESP32-CAM, and the MQTT protocol for long-distance data communication. The electric motor was used to simulate irrigation and fertilization mechanisms that were controlled automatically based on machine learning results from images taken by the ESP32-CAM. The research method used is a development study with an experiment-based approach and device testing. Test results have shown that this practical tool is successful in controlling a 3-phase AC electric motor and 3 pilot lights remotely based on 4 types of soil texture, consisting of clay, silt, clay and sand. The four types of soil texture were successfully recognized using Edge Impulse machine learning on



ESP32-CAM with an F1 Score of 100% for the classification model and a prediction accuracy value of 1.00 for clay, 0.76 for silt, 0.65 for clay, and 0. 58 for sand.

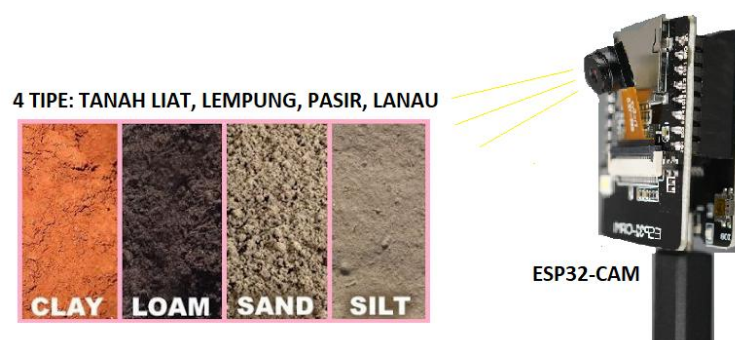
This is an open-access article under the [CC-BY-SA](#) license.



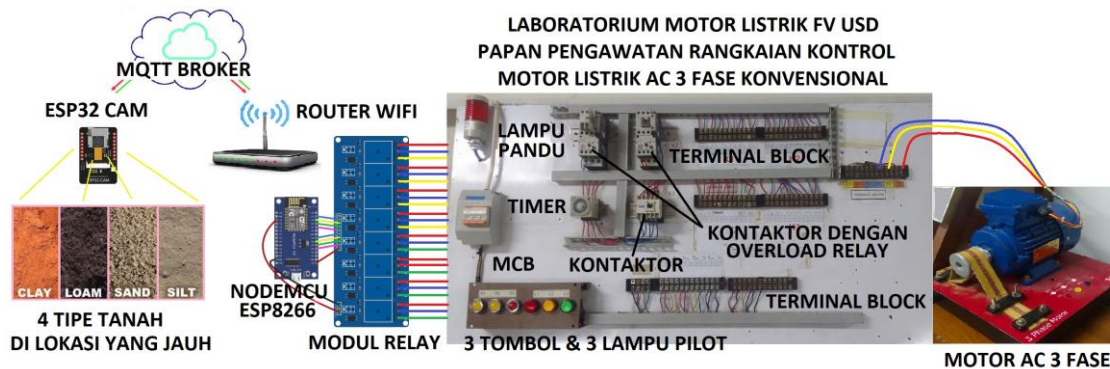
Pendahuluan

Pertanian pintar atau *smart agriculture* adalah penerapan teknologi modern untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas dalam sektor pertanian. Teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), *Artificial Intelligence* (AI), dan protokol komunikasi seperti *Message Queueing Telemetry Transport* (MQTT) memungkinkan pengelolaan pertanian yang lebih baik dan terukur [1]. Teknologi modern ini perlu diperkenalkan kepada mahasiswa, agar mahasiswa mendapatkan pengalaman dalam berbagai disiplin ilmu seperti teknik elektro, teknologi informasi dan pertanian sehingga memberikan pemahaman tentang bagaimana teknologi dapat diterapkan dalam bidang pertanian, memberikan kesempatan bagi mahasiswa untuk belajar dan berlatih dengan teknologi IoT dan kecerdasan buatan. Hal ini sangat penting untuk meningkatkan keterampilan yang relevan dengan kebutuhan industri masa kini.

Sebagai salah satu upaya untuk memperkenalkan teknologi modern tersebut, dikembangkanlah sebuah alat praktik berupa sebuah papan yang berisi rangkaian kontrol motor listrik AC 3 fase konvensional, di mana motor listrik AC 3 fase ini dapat dikontrol dari jarak jauh melalui layanan IoT. Mengingat isu ketahanan pangan menjadi perhatian masyarakat yang cukup besar, maka alat praktik yang dikembangkan tersebut diintegrasikan dengan teknologi kecerdasan buatan yang dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian. Alat praktik untuk teknologi kecerdasan buatan tersebut berupa sebuah kamera pintar yang ekonomis, yaitu ESP32-CAM. Hal yang membuat pintar adalah karena ESP32-CAM tersebut dapat diprogram dengan kode yang menerapkan pembelajaran mesin (*machine learning*), yang dibuat dengan software *Edge Impulse*. Dengan menerapkan pembelajaran mesin pada ESP32-CAM, membuat ESP32-CAM dapat mengenali objek, mengklasifikasikan objek berdasarkan tipe-tipe objek yang telah dilatih sebelumnya. Dalam contoh praktik di sini, ESP32-CAM digunakan untuk mendeteksi objek tanah, dan mengklasifikasikannya ke dalam 4 tipe tekstur tanah, yaitu lempung (*loam*), tanah liat (*clay*), lanau (*silt*) dan pasir (*sand*). Hasil klasifikasi objek oleh ESP32-CAM tersebut, kemudian dikirimkan melalui protokol MQTT untuk mengontrol motor listrik AC 3 fase dari jarak jauh. Gambar 1 dan Gambar 2 berikut ini menunjukkan alat praktik motor listrik untuk pertanian pintar yang dikembangkan dalam penelitian ini.



Gambar 1. ESP32-CAM mengambil gambar 4 buah tipe tekstur tanah



Gambar 2. Hasil klasifikasi tipe tekstur tanah dikirimkan dari jarak jauh melalui protocol MQTT untuk mengontrol rangkaian motor listrik di Laboratorium Motor Listrik FV USD

Beberapa penelitian sebelumnya tentang pengembangan alat praktik juga telah dilakukan. Pengembangan alat praktik menggunakan simulator Wokwi menjadi hal yang menarik, karena fasilitas Wokwi memudahkan pengguna dalam mempelajari mikrokontroler, mendukung pengembangan proyek IoT dengan menyediakan komponen seperti sensor, aktuator, dan modul komunikasi. Ini memungkinkan pengguna untuk merancang dan menguji sistem IoT secara mudah dan komprehensif [2][3][4][5][6][7][8].

Penelitian tentang pertanian pintar juga telah banyak dilakukan. Teknologi IoT dan Kecerdasan Buatan (AI) menjadi sarana penting untuk menghasilkan pertanian pintar [9][10][11][12][13][14]. Penggunaan *Edge Impulse* sebagai software bantu dalam menghasilkan kecerdasan buatan juga telah banyak diteliti. *Edge Impulse* ini menyediakan antarmuka pengguna yang mudah dipahami dan digunakan, sehingga memudahkan mahasiswa untuk memulai proyek pembelajaran mesin tanpa pengalaman mendalam sebelumnya. *Edge Impulse* dapat menghasilkan model pembelajaran mesin yang efisien dan ringan, sangat sesuai untuk perangkat dengan sumber daya terbatas seperti ESP32-CAM [15][16]. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan alat praktik motor listrik jarak jauh yang dapat mendukung praktik pertanian pintar, yang memungkinkan pemantauan dan kontrol secara real-time dan jarak jauh menggunakan teknologi IoT dan AI.

Metode

Jenis penelitian yang digunakan adalah pengembangan alat dengan metode penelitian menggunakan metode pendekatan berbasis eksperimen dan pengujian perangkat. Data yang diteliti adalah data kuantitatif, meliputi hasil pengujian kinerja alat, waktu respon dan akurasi kontrol. Simpulan ditarik dari hasil analisa data kuantitatif tersebut.

Ada 3 tahapan yang dilakukan untuk pengembangan alat, yaitu desain sistem, implementasi, dan pengujian. Berikut ini uraiannya masing-masing:

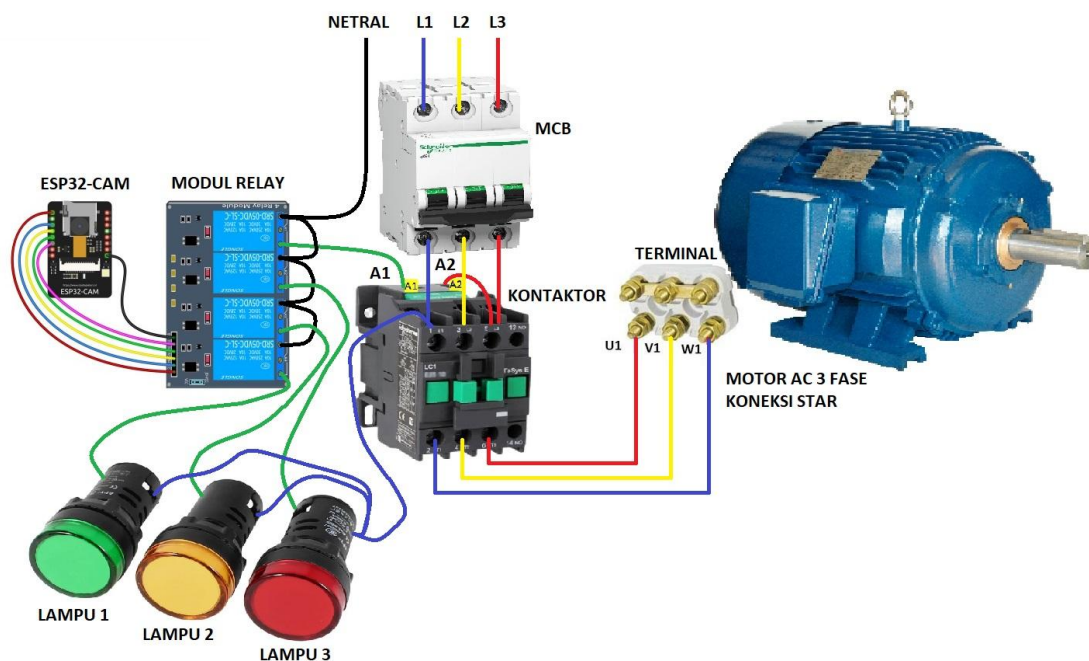
1. Desain Sistem

Pada awal mulanya, alat praktik motor listrik ini dirancang dengan tujuan agar mahasiswa dapat menjalankan motor listrik AC 3 fase, yaitu dapat menghidup-matikan motor listrik tersebut melalui kontaktor, baik dengan tombol tekan maupun dengan *sensor proximity*.

Motor listrik AC 3 fase dipilih karena jenis ini banyak digunakan di industri dan memiliki konstruksi yang sederhana, tanpa sikat dan komutator, sehingga membuatnya lebih tahan lama dan lebih ekonomis. Karena menggunakan sumber listrik 3 fase, pengoperasian motor jenis ini lebih stabil, karena medan magnet putar yang dihasilkan selalu konstan, di samping itu juga menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dalam mengubah energi listrik menjadi energi

mekanik. Hanya saja, karena menggunakan sumber listrik 3 fase, maka instalasi motor jenis ini lebih kompleks karena memerlukan jaringan listrik 3 fase dan peralatan kontrol tambahan. Untuk itu, agar mahasiswa dapat melakukan instalasi dan pengawatan kontrol motor listrik 3 fase ini, maka motor listrik 3 fase ini dipilih sebagai alat praktik.

Berkembangnya teknologi kecerdasan buatan dan pembelajaran mesin menimbulkan ide untuk memanfaatkan sensor visi sebagai ganti tombol dan sensor *proximity*. Sensor visi adalah perangkat yang digunakan untuk menangkap gambar dan mengolahnya sehingga dapat "melihat" dan mengenali objek atau kondisi tertentu dalam gambar. Sensor visi dalam rancangan alat praktik ini dibuat dengan ESP32-CAM dan *Edge Impulse*. Gambar 3 berikut ini menunjukkan rancangan awal alat praktik yang melibatkan penggunaan ESP32-CAM untuk mendeteksi 4 objek. Apabila objek pertama terdeteksi, motor listrik AC 3 fase akan hidup. Apabila objek kedua terdeteksi, lampu pilot 1 (hijau) akan menyala. Apabila objek ketiga terdeteksi, maka lampu pilot 2 (kuning) akan menyala. Apabila objek keempat terdeteksi, maka lampu pilot 3 (merah) akan menyala.



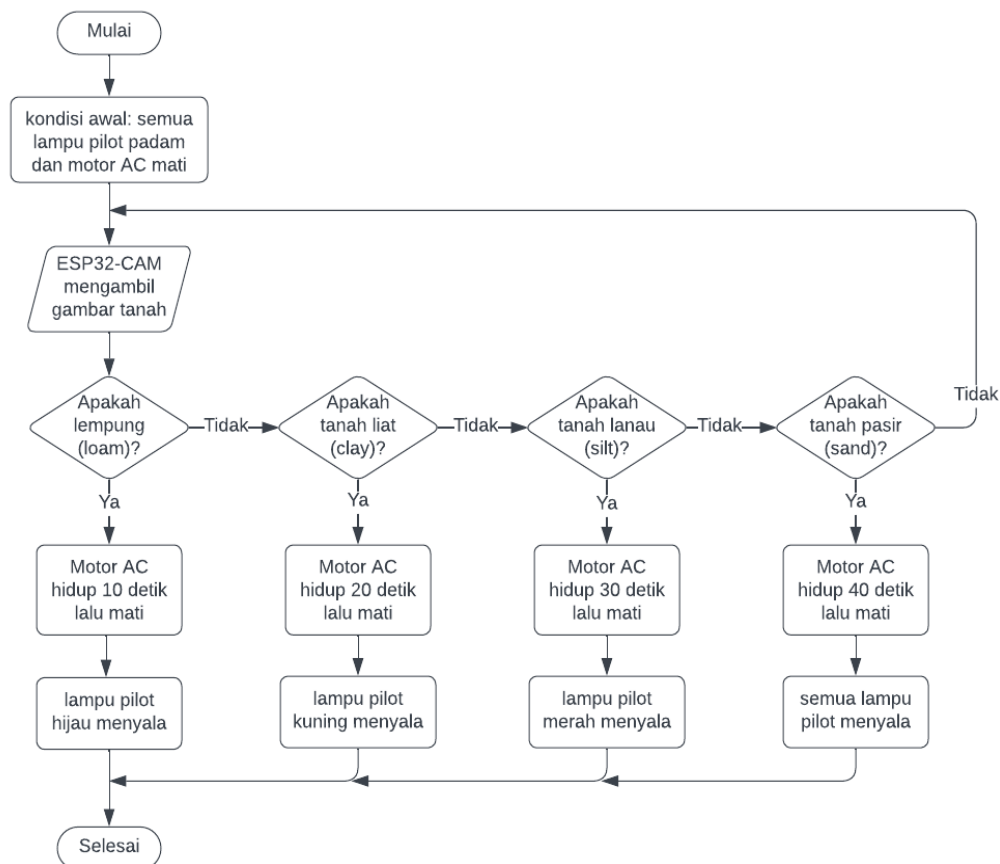
Gambar 3. Rancangan awal alat praktik motor listrik melibatkan sensor visi ESP32-CAM

Berikutnya agar alat praktik motor listrik 3 fase ini lebih kontekstual dengan kebutuhan masyarakat, di mana isu ketahanan pangan menjadi perhatian yang besar, maka timbul ide untuk menggunakan alat praktik motor listrik ini sebagai simulasi atau prototipe awal dari teknologi untuk pertanian pintar. Motor listrik 3 fase di sini mensimulasikan pompa air untuk irigasi atau pemberian air ke tanaman. Tiga buah lampu pilot digunakan untuk indikator pemupukan; lampu hijau berarti tidak diperlukan pemupukan, lampu kuning berarti diperlukan sedikit pemupukan, sedangkan lampu merah berarti diperlukan pemupukan lebih banyak, sedangkan apabila semua lampu menyala berarti diperlukan pemupukan yang maksimal.

Mekanisme irigasi dan pemupukan dijalankan berdasarkan hasil klasifikasi gambar tanah oleh ESP32-CAM. Apabila tipe tekstur tanah yang terdeteksi oleh ESP32-CAM adalah lempung (loam), maka irigasi dilakukan selama 10 detik dan tidak diperlukan pemupukan (lampu hijau menyala). Apabila tipe tekstur tanah yang terdeteksi oleh ESP32-CAM adalah tanah liat (clay), maka irigasi dilakukan selama 20 detik dan diperlukan sedikit pemupukan (lampu kuning

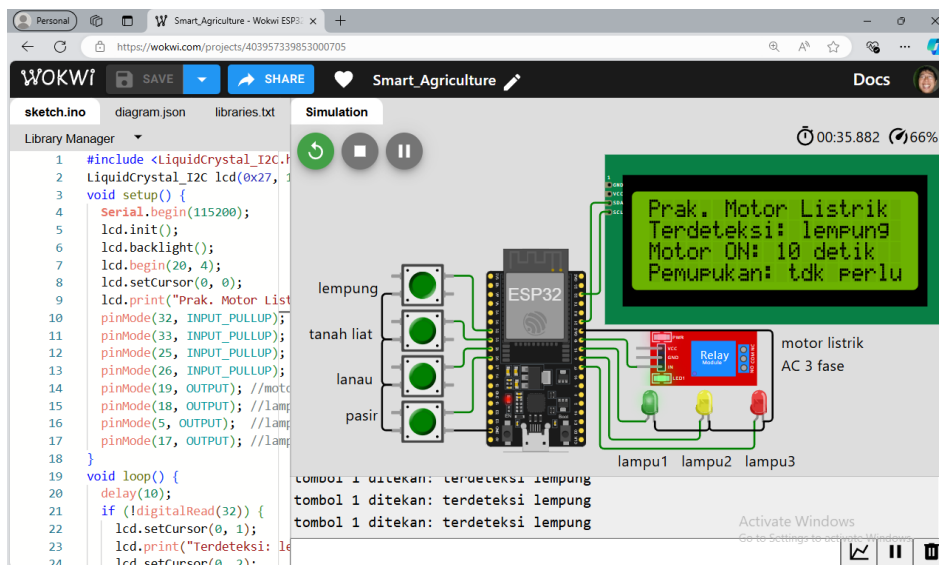
menyala). Apabila tipe tekstur tanah yang terdeteksi oleh ESP32-CAM adalah lanau (silt), maka irigasi dilakukan selama 30 detik dan diperlukan banyak pemupukan (lampu merah menyala). Apabila tipe tekstur tanah yang terdeteksi oleh ESP32-CAM adalah pasir (sand), maka irigasi dilakukan selama 40 detik dan diperlukan pemupukan yang maksimal (semua lampu menyala). Gambar 4 berikut ini menunjukkan flowchart dari simulasi sistem pertanian pintar ini.

Agar alat praktik motor listrik ini lebih menarik minat mahasiswa, maka baik motor listrik AC 3 fase maupun ketiga lampu pilot tersebut dapat dikendalikan dari jarak jauh. Mahasiswa tidak perlu hadir di laboratorium. Mahasiswa dapat mengoperasikan alat-alat tersebut di mana saja dan kapan saja. Apa yang terjadi pada alat praktik dapat dipantau dari halaman web, yang menampilkan tangkapan gambar alat praktik, khususnya kondisi motor listrik dan ketiga lampu pilot.



Gambar 4. Flowchart program simulasi sistem pertanian pintar

Alat kontrol untuk motor listrik dan ketiga lampu pilot tersebut adalah ESP32-CAM yang diprogram dengan *Edge Impulse*. Apabila mahasiswa tidak memiliki perangkat ESP32-CAM, mahasiswa dapat menggantikannya dengan Wokwi. Jadi di sini, Wokwi tidak hanya digunakan untuk mensimulasikan rangkaian kontrol, tetapi sekaligus menjadi alternatif pengganti ESP32-CAM untuk mengendalikan motor listrik dan ketiga lampu pilot dari jarak jauh. Hasil klasifikasi objek disimulasikan dengan penekanan tombol. Gambar 5 berikut ini menunjukkan contoh rangkaian Wokwi untuk mengontrol motor listrik dan ketiga lampu pilot, yang bekerja sesuai dengan flowchart pada Gambar 4 di atas.



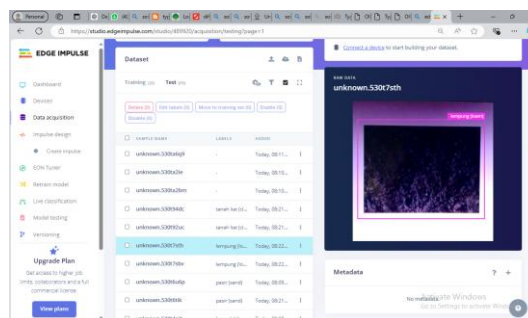
Gambar 5. Wokwi menampilkan hasil klasifikasi tipe tekstur tanah dan data kontrol

Baik ESP32-CAM maupun Wokwi, keduanya akan mengirimkan data kontrol melalui protokol MQTT, yang diterima oleh NodeMCU ESP8266 untuk diteruskan ke Modul Relay, yang kemudian bekerja menghidup/matikan kontaktor motor AC 3 fase dan ketiga lampu pilot di papan rangkaian pengawatan berdasarkan data kontrol.

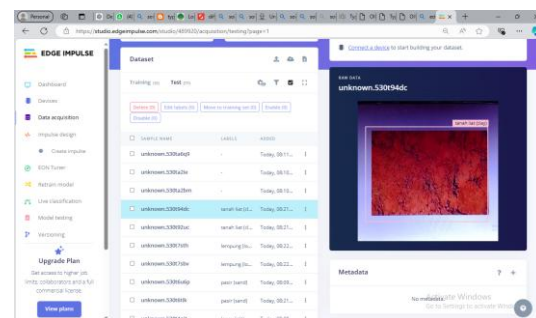
2. Implementasi

Dari rancangan sistem di atas, ESP32-CAM perlu diprogram agar dapat mengenali objek, apakah objek tersebut berupa lempung, tanah liat, lanau atau pasir. Untuk bisa menghasilkan pengenalan objek tersebut, diterapkan pembelajaran mesin menggunakan *Edge Impulse* dengan jumlah dataset sebanyak minimal 20 dataset gambar objek untuk setiap tipe tekstur tanah. Dari sejumlah dataset gambar tersebut, *Edge Impulse* akan mengambil 80% untuk digunakan dalam *training* dan 20% untuk digunakan dalam *testing*. Untuk keperluan pengenalan atau klasifikasi gambar objek ini, *Edge Impulse* menggunakan model klasifikasi *Transfer Learning MobileNetV2 0.35* yang berukuran kurang dari 100KB, di mana model klasifikasi ini memang dirancang untuk digunakan pada perangkat dengan memori terbatas seperti ESP32-CAM. Berikut ini langkah-langkah implementasi penerapan *Edge Impulse* pada ESP32-CAM.

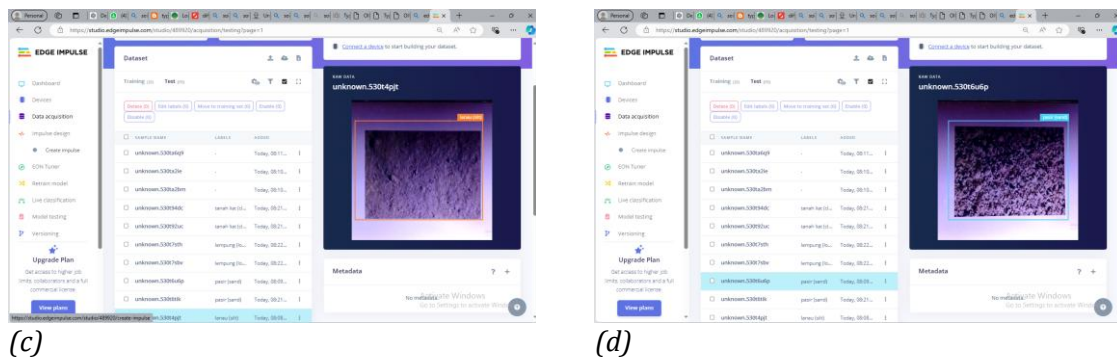
Mula-mula ESP32-CAM mengambil gambar objek keempat tipe tekstur tanah, masing-masing sebanyak 20 buah gambar. Setelah dataset berupa gambar objek telah diperoleh, langkah berikutnya adalah memberi label pada setiap gambar, seperti terlihat pada Gambar 6 berikut ini.



(a)

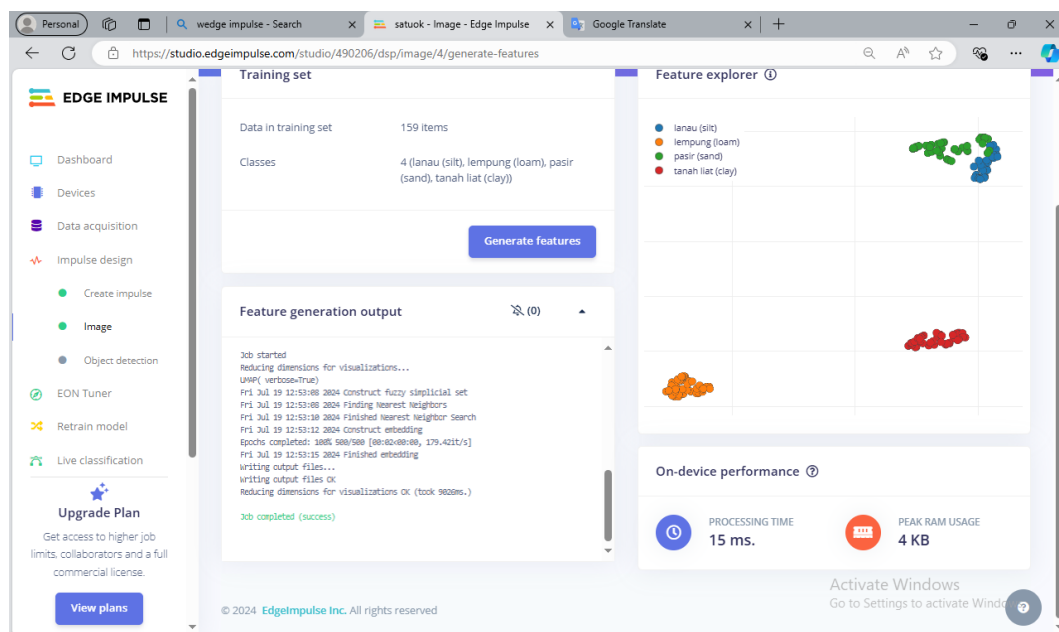


(b)



Gambar 6. (a) Pelabelan gambar objek lempung, (b) pelabelan gambar objek tanah liat, (c) pelabelan gambar objek lanau, (d) pelabelan gambar objek pasir

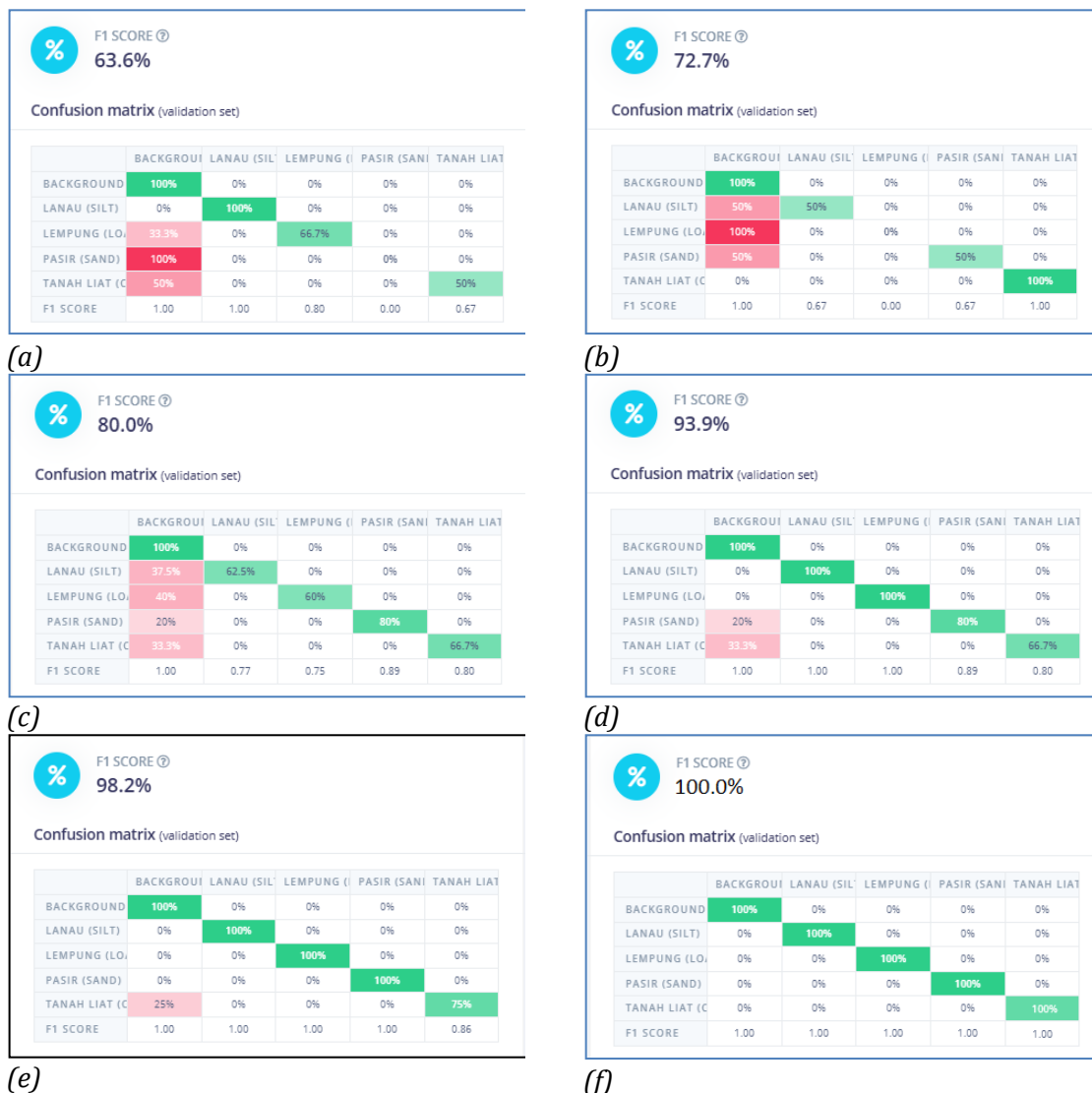
Setelah semua gambar objek diberi label, kecuali *background*, maka langkah berikutnya adalah membangkitkan peta fitur klasifikasi objek. Fitur klasifikasi objek pada *Edge Impulse* didasarkan pada fitur tekstur dan bentuk gambar selain warna objek, karena fitur berbasis tekstur dan bentuk biasanya lebih stabil dan efektif untuk klasifikasi objek di berbagai kondisi pencahayaan. Ekstraksi fitur pada *Edge Impulse* untuk ESP32-CAM ini menggunakan *Transfer Learning MobileNet* yang menggunakan model yang telah dilatih sebelumnya sebagai dasar untuk mengekstraksi fitur dari dataset gambar objek. Model tersebut telah mengerti fitur visual dasar seperti pola tepi atau bentuk umum dari objek yang ada, sehingga proses klasifikasi menjadi lebih efisien. Gambar 7 berikut ini menunjukkan peta fitur klasifikasi keempat objek yang telah dibangkitkan. Terlihat titik objek lanau dan objek pasir cukup dekat, hal ini dapat dimaklumi karena lanau dan pasir hampir mirip warnanya, hanya ukuran partikelnya saja yang berbeda.



Gambar 7. Pembangkitan peta klasifikasi untuk keempat objek

Dari percobaan diketahui, bahwa penambahan jumlah dataset ternyata bisa memperlebar jarak pemisahan keempat objek. Setelah pembangkitan peta fitur klasifikasi keempat objek selesai, langkah berikutnya adalah menerapkan pelatihan pada model menggunakan dataset gambar yang telah dikumpulkan. Kemudian hasil dari pelatihan model tersebut dievaluasi untuk memastikan akurasi dan performanya cukup baik. Pengukuran performa model klasifikasi ini diukur dengan nilai metrik evaluasi, yang disebut dengan *F1 Score*. *F1 Score*

mendekati 100% menunjukkan bahwa pemodelan objek semakin akurat. Sama seperti pada fitur klasifikasi, *F1 Score* ini juga meningkat nilainya ketika jumlah dataset gambar objek ditambah. Semakin banyak dataset gambar objek ditambahkan, semakin baik model klasifikasi yang dihasilkan. Gambar 8 berikut ini menunjukkan bagaimana *F1 Score* semakin tinggi dengan penambahan dataset gambar objek, mulai dari 20 dataset gambar, hingga menjadi 80 dataset gambar setiap tipenya.



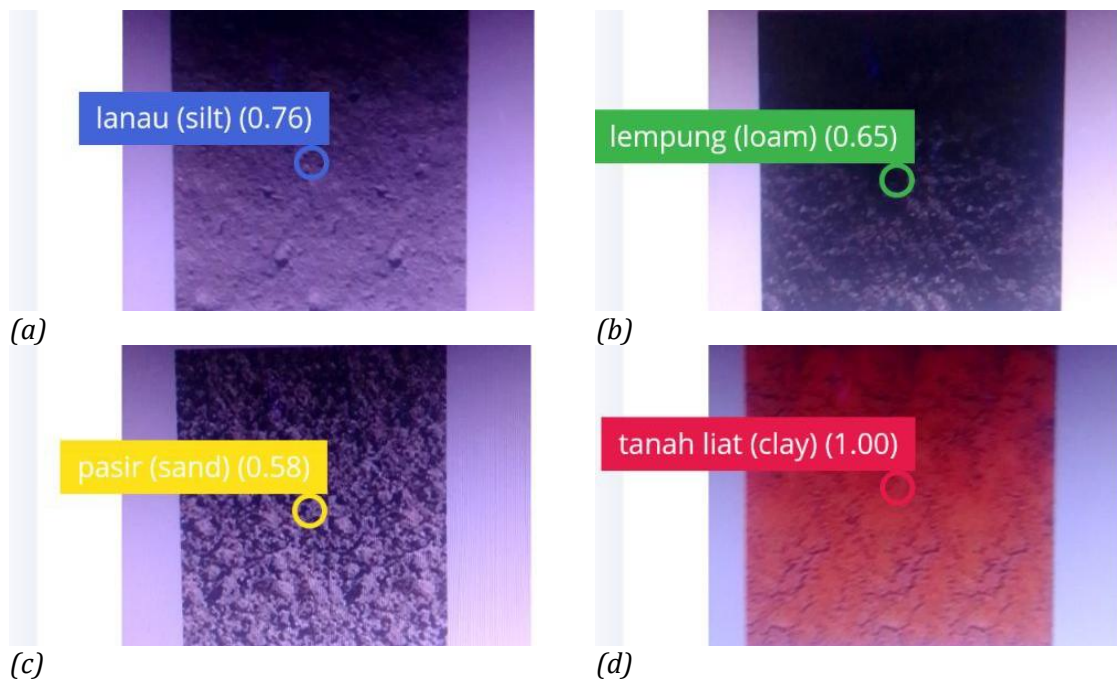
Gambar 8. (a) *F1 Score* =63.6% untuk 20 dataset, (b) *F1 Score* =72.7% untuk 30 dataset, (c) *F1 Score* =80.0% untuk 40 dataset, (d) *F1 Score* =93.9% untuk 50 dataset, (e) *F1 Score* =98.2% untuk 60 dataset, (f) *F1 Score* =100.0% untuk 80 dataset

Setelah mendapatkan *F1 Score* sebesar 100%, yang berarti pembelajaran mesin telah menghasilkan model klasifikasi yang terbaik, langkah berikutnya adalah menanamkan kode program dari model pembelajaran mesin ini ke ESP32-CAM. Apabila penanaman kode berhasil, maka ESP32-CAM sudah bisa digunakan sebagai sensor visi, yang dapat mendeteksi objek dan mengklasifikasikannya ke dalam tipe objek yang tepat.

3. Pengujian

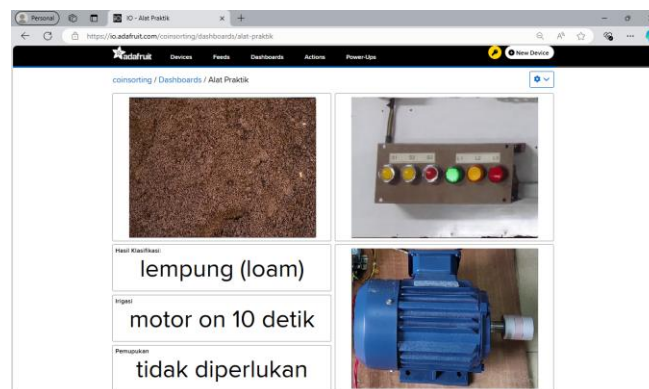
Pengujian pengenalan tekstur tanah dilakukan dengan menempatkan ESP32-CAM pada

tanah yang dideteksi. Gambar 9 menunjukkan hasil pengujian tersebut. Terlihat keempat tipe tekstur tanah telah berhasil dikenali dan diklasifikasikan ke dalam 4 tipe: lanau (*silt*), lempung (*loam*), pasir (*sand*), dan tanah liat (*clay*) dengan nilai prediksi yang tinggi untuk tanah liat sebesar 1,00, diikuti lanau sebesar 0,76, kemudian lempung sebesar 0,65 dan terakhir adalah pasir sebesar 0,58. Sekalipun hanya satu tekstur yang mencapai ketepatan prediksi sebesar 1,00, namun dengan *F1 Score* sebesar 100% keempat tekstur telah dapat dikenali dan diklasifikasi dengan baik.



Gambar 9. (a) Nilai prediksi 0.76 untuk tipe lanau, (b) nilai prediksi 0.65 untuk tipe lempung, (c) nilai prediksi 0.58 untuk tipe pasir, (d) nilai prediksi 1.00 untuk tipe tanah liat

Berikutnya, untuk mengetahui apakah hasil klasifikasi objek sudah tepat sesuai objek yang dideteksi, dan juga memantau kondisi dari alat praktik, baik itu motor listrik maupun ketiga lampu pilot, maka digunakanlah tampilan web menggunakan layanan IoT yang cukup populer, yaitu Adafruit IO. Gambar 10 berikut ini menunjukkan tampilan web dari *Dashboard Adafruit IO* yang menampilkan gambar objek dan hasil klasifikasinya serta gambar kondisi dari motor listrik dan ketiga lampu pilot.



Gambar 10. Tampilan *Dashboard* Adafruit IO yang menampilkan gambar objek dan hasil klasifikasinya, serta gambar kondisi alat praktik

Dari hasil pengujian perangkat, yaitu pencatatan waktu mulai dari pengenalan tekstur tanah oleh ESP32-CAM hingga hasil kontrolnya pada Motor Listrik dan lampu pilot, telah diperoleh rata-rata waktu respon sebesar 5 – 10 detik dengan akurasi ketepatan hasil kontrol mencapai 95% (kesalahan 5% akibat ketidakstabilan koneksi internet). Dengan durasi waktu respon yang singkat ini menunjukkan bahwa responsivitas alat cukup cepat, dan cukup memadai untuk diterapkan pada aplikasi pertanian pintar, khususnya untuk pemantauan dan kontrol secara *real-time*.

Hasil dan Pembahasan

1. Alat Praktik Motor Listrik Jarak Jauh penting untuk dikembangkan

Alat praktik ini mendukung pembelajaran yang interaktif. Mahasiswa dapat mempelajari prinsip-prinsip motor listrik dan kontrolnya melalui pengalaman langsung dengan alat, meskipun tidak berada di laboratorium fisik. Dengan alat praktik jarak jauh ini, mahasiswa dari berbagai lokasi dapat mengakses alat praktik kapan saja. Ini sangat bermanfaat ketika mahasiswa ingin melakukan pengulangan praktik secara mandiri, dan juga ketika terjadi pembatasan pertemuan tatap muka seperti saat wabah pandemi Covid-19 pada waktu lalu.

2. Penggunaan Sensor Visi lebih baik dibandingkan sensor lain

Beberapa penelitian menggunakan sensor kelembaban tanah untuk pembacaan tingkat kesuburan tanah. Dalam penelitian ini diketahui bahwa sensor visi dengan ESP32-CAM dan *Edge Impulse* lebih baik dalam mendeteksi tingkat kesuburan tanah dibandingkan dengan sensor kelembaban tanah, karena sensor visi dapat menangkap berbagai parameter visual dari tanah dan tanaman, seperti warna dan tekstur, yang bisa menjadi indikator kesehatan tanah dan tanaman. Sensor visi dapat digunakan untuk memantau area lahan yang luas secara sekaligus, memberikan gambaran umum tentang kondisi seluruh area tanpa perlu banyak sensor fisik yang tersebar. Sementara sensor kelembaban tanah hanya dapat memberikan data dari satu titik spesifik, sehingga memerlukan beberapa sensor untuk mendapatkan gambaran lengkap dari area yang luas. Dengan sensor visi, warna tanah dapat dibaca, di mana warna tanah ini memberikan petunjuk visual yang berguna untuk mengidentifikasi jenis tanah dan memprediksi kesuburannya. Tanah yang lebih gelap biasanya mengandung lebih banyak bahan organik, sementara warna merah atau kuning menunjukkan keberadaan oksida besi. Dengan mengenali warna tanah ini, perlakuan lahan akan menjadi lebih tepat.

3. Pentingnya pengenalan teknologi IoT dan Kecerdasan Buatan

Revolusi Industri 4.0 ditandai dengan integrasi teknologi IoT dan kecerdasan buatan (AI) dalam berbagai sektor, termasuk manufaktur, kesehatan, pertanian, dan transportasi. Mahasiswa yang memahami dan terampil dalam teknologi ini akan lebih siap menghadapi tuntutan pasar kerja di masa depan. Teknologi IoT dan AI memberikan alat yang kuat untuk memecahkan masalah kompleks. Mahasiswa yang belajar menggunakan teknologi ini dapat mengembangkan solusi inovatif untuk tantangan nyata di masyarakat. IoT dan AI memungkinkan otomatisasi tugas-tugas rutin dan berulang, sehingga meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Mahasiswa yang belajar tentang ini dapat mengimplementasikan solusi otomatisasi di tempat kerja atau usaha mereka sendiri. Keterampilan dalam pemrograman dan pengembangan sistem berbasis IoT dan AI sangat dicari oleh industri. Mahasiswa yang terampil dalam hal ini akan memiliki peluang karir yang lebih baik. Pengembangan alat praktik berbasis IoT dan AI memungkinkan mahasiswa untuk belajar melalui pengalaman langsung. Mereka dapat melihat bagaimana teori diterapkan dalam dunia nyata dan memahami proses pengembangan dari awal hingga akhir. Mengembangkan alat praktik untuk pertanian pintar memberikan mahasiswa kesempatan untuk bekerja pada proyek yang memiliki dampak nyata terhadap masyarakat. Ini juga meningkatkan kesadaran mereka tentang pentingnya teknologi

dalam memecahkan masalah global seperti ketahanan pangan. Alat praktik berbasis IoT dan AI membutuhkan pemahaman tentang berbagai disiplin ilmu, termasuk elektronik, pemrograman, analisis data, dan ilmu pertanian. Ini mendorong kolaborasi antar mahasiswa dari berbagai latar belakang. Pengembangan alat praktik ini menghadirkan tantangan yang kompleks, dari desain dan pengembangan perangkat keras hingga pengolahan data dan implementasi algoritma AI. Mahasiswa belajar mengatasi tantangan ini, yang memperkuat keterampilan pemecahan masalah mereka. Pengenalan teknologi IoT dan kecerdasan buatan kepada mahasiswa adalah langkah strategis untuk mempersiapkan mereka menghadapi tantangan dan peluang di masa depan. Pengembangan alat praktik berbasis IoT dan AI tidak hanya memberikan pengalaman pembelajaran yang nyata dan relevan tetapi juga menginspirasi inovasi dan kreativitas.

Simpulan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat praktik motor listrik ini berhasil memenuhi kriteria performa yang diharapkan untuk mendukung aplikasi pertanian pintar. Dalam hal kinerja alat, sistem dapat mengontrol motor listrik AC 3 fase dan tiga lampu pilot secara jarak jauh berdasarkan analisis tekstur tanah yang dihasilkan oleh ESP32-CAM dan *Edge Impulse*.

Dari segi ketepatan prediksi tekstur tanah, diperoleh nilai antara 0,58 – 1,00, dengan nilai ketepatan paling tinggi untuk tekstur tanah liat sebesar 1,00, diikuti tekstur lanau sebesar 0,76, diikuti tekstur lempung sebesar 0.65, dan diakhiri tekstur pasir sebesar 0.58. Sekalipun hanya satu tekstur yang mencapai ketepatan prediksi sebesar 1,00, namun dengan *F1 Score* sebesar 100% keempat tekstur telah dapat dikenali dan diklasifikasi dengan baik.

Dari segi waktu respon, alat ini menunjukkan rata-rata waktu respon sebesar 5 – 10 detik dari perintah kontrol hingga aksi terjadi pada motor listrik. Hal ini menunjukkan responsivitas yang cukup cepat untuk aplikasi pertanian pintar yang memerlukan pemantauan dan kontrol secara real-time.

Secara keseluruhan, alat ini menunjukkan potensi yang signifikan untuk diimplementasikan dalam pendidikan dan praktik pertanian pintar, dengan hasil kinerja yang memadai serta waktu respon dan akurasi kontrol yang tinggi.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih peneliti sampaikan kepada LPPM USD yang telah memberikan dukungan dan mendanai penelitian ini melalui Hibah Penelitian Terapan Reguler Tahun Pendanaan 2024. Terima kasih juga kepada semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] V. Kumar, K. V. Sharma, N. Kedam, A. Patel, T. R. Kate, and U. Rathnayake, "A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies," *Smart Agric. Technol.*, vol. 8, no. February, p. 100487, 2024, doi: 10.1016/j.atech.2024.100487.
- [2] W. Wahyudi, U. N. Makassar, E. Sabara, and U. N. Makassar, "Desain Dan Implementasi Media Pembelajaran Mikrokontroler Design and Implementation of Hybrid Learning-Based," no. April, 2023, doi: 10.26858/metrik.v19i3.37177.
- [3] N. Faizah, B. Zailani, and I. Researcher, *Getting Started with Arduino and ESP32: A Beginner's Guide With Wokwi*, no. June. 2024.
- [4] V. Y. P. Ardhana, M. T. Hidayat, M. Jannah, S. Sumiati, P. Rini, and N. Sari, "Implementasi RESTful API Pada Laravel dan Simulator IoT Wokwi Untuk Pengukuran Suhu dan Kelembaban Menggunakan Metode Waterfall," *Arcitech J. Comput. Sci. Artif. Intell.*, vol. 3, no. 2, p. 93, 2023, doi: 10.29240/arcitech.v3i2.9334.
- [5] Nguyen Tai Tuyen, "On an application in supporting practical teaching of IoT course and

- embedded programming," *Glob. J. Eng. Technol. Adv.*, vol. 13, no. 3, pp. 039–044, 2022, doi: 10.30574/gjeta.2022.13.3.0199.
- [6] C. Nicolaus, B. S. Anggono, and A. H. Kuspranoto, "Perancangan Simulasi Kalkulator Indeks Masa Tubuh Berbasis Arduino Uno Dan Simulasi Wokwi Design of Body Mass Index Calculator Simulation Based on Arduino Uno and Wokwi Simulation," *Med. Trada J. Tek. Elektromedik Polbitrada*, vol. 4, no. 2, pp. 29–34, 2023.
- [7] S. M. Tsyrlunyk, V. M. Tkachuck, and M. O. Tsyrlunyk, "Prototyping IOT project at WOKWI service," no. December 2022, 2022, doi: 10.31649/mccs2022.03.
- [8] D. Untoro Suwarno, "Simulation on the effects of the Arduino PID controller parameters using the WOKWI online simulator," *Int. Conf. Inf. Sci. Technol. Innov.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2022, doi: 10.35842/icostec.v1i1.1.
- [9] M. F. Sanjaya, U. Kalsum, and A. R. N, "Penerapan Teknologi Cerdas Penyiraman Tanaman Hidroponik Berbasis Mikrokontroler Dan Multisensor Pada Pembudidayaan Tanaman Hidroponik Kabupaten Majene," *J. Abdi Insa.*, vol. 10, no. 3, pp. 1880–1889, 2023, doi: 10.29303/abdiinsani.v10i3.1113.
- [10] L. G. R. C. and G. P, "An automated low cost IoT based Fertilizer Intimation System for smart agriculture," *Sustain. Comput. Informatics Syst.*, vol. 28, no. 2018, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1016/j.suscom.2019.01.002.
- [11] I. Zyrianoff, A. Heideker, D. Silva, and C. Kamienski, "Scalability of an Internet of Things Platform for Smart Water Management for Agriculture," *Conf. Open Innov. Assoc. Fruct*, vol. 2018-November, pp. 432–439, 2018, doi: 10.23919/FRUCT.2018.8588086.
- [12] H. Gao et al., "TVPol-Edge: An Edge Detection Method with Time-varying Polarimetric Characteristics for Crop Field Edge Delineation," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, no. May, 2024, doi: 10.1109/TGRS.2024.3403481.
- [13] L. Guillermo, H. Rojas, J. Saul, and F. Pelayo, "Intelligent Irrigation System Based on Humidity and Temperature Predictions for Cocoa Crops in Piedecuesta Santander," 2024.
- [14] B. M. Kusuma Kumari, E. Sahay, M. Shahid, P. S. Shinde, and E. Puliyanjalil, "Internet of Things and Machine Learning for Smart-Agriculture: Technologies, Practices, and Future Direction," *Int. J. Intell. Syst. Appl. Eng.*, vol. 12, no. 4s, pp. 70–81, 2024.
- [15] S. Hymel et al., "*Edge Impulse*: An MLOps Platform for Tiny Machine Learning," 2022, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2212.03332>
- [16] M. J. O'Grady, D. Langton, and G. M. P. O'Hare, "Edge computing: A tractable model for smart agriculture?," *Artif. Intell. Agric.*, vol. 3, pp. 42–51, 2019, doi: 10.1016/j.aiia.2019.12.001.