

Penerapan *Multi Layer Perceptron* (MLP) Untuk Prediksi Kebutuhan Perawatan Tanaman Tomat Berbasis IoT

Gilang Fatah Kumara¹, Suroso^{1*}, Moh. Fadhli¹

¹ Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl. Sriwijaya Negara, Bukit Lama, Palembang, 30128, Indonesia

E-mail: suroso@polsri.ac.id

Naskah Masuk: 26 Juni 2025; Accepted: 11 Agustus 2025; Terbit: 31 Agustus 2025

ABSTRAK

Abstrak - Sistem pertanian cerdas, khususnya proses perawatan tanaman otomatis, sangat dipengaruhi oleh kemajuan teknologi *Internet of Things* (IoT). Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat dan menerapkan sistem IoT untuk melacak dan merawat tanaman tomat. Sistem ini akan menggunakan algoritma *Multi-Layer Perceptron* (MLP) untuk memprediksi kebutuhan penyiraman dan pemupukan. Sensor kelembaban tanah dan sensor NPK untuk mendeteksi kondisi lingkungan adalah bagian dari sistem, yang juga memiliki mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali. Data dari sensor dikirim ke aplikasi mobile berbasis MIT App Inventor untuk pemantauan dan kendali jarak jauh. Berdasarkan data historis, model prediksi MLP dilatih untuk memperkirakan jumlah air dan pupuk yang dibutuhkan selama periode waktu tertentu. Pengujian yang dilakukan dalam berbagai kondisi waktu menunjukkan bahwa sistem mampu merespons secara otomatis terhadap perubahan kadar nutrisi tanah dan kelembaban. Hasil prediksi MLP juga menunjukkan tren peningkatan kebutuhan air dan pupuk seiring waktu. Hasil ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan perencanaan perawatan tanaman. Sistem ini dapat mendukung implementasi pertanian presisi berbasis data, mengurangi intervensi manual, dan meningkatkan efisiensi penggunaan air dan pupuk dengan mengintegrasikan sensor, aktuator, dan model prediktif.

Kata kunci: Internet of Things, Multi Layer Perceptron, Penyiraman Otomatis, Pertanian Presisi, Tanaman Tomat.

ABSTRACT

Abstract – The development of smart agriculture systems, especially in automated plant care procedures, has been significantly aided by the growth of *Internet of Things* (IoT) technology. Using the *Multi Layer Perceptron* (MLP) method, this project intends to design and implement an *Internet of Things* (IoT)-based tomato plant monitoring and care system with predictive features for fertilization and irrigation requirements. An ESP32 microcontroller acts as the control center for the system, which also includes an NPK sensor and a soil moisture sensor to identify environmental conditions. A smartphone application created with MIT App Inventor receives sensor data over the MQTT protocol, enabling remote monitoring and control. Historical data is used to train the MLP prediction model, which estimates the amount of fertilizer and water needed over time. Testing the system over a range of time periods shows that it can react automatically to variations in soil moisture and nutrient levels. For the purpose of optimizing plant care planning, MLP prediction findings also show a progressive increase in water and fertilizer requirements over time. This system facilitates data-driven precision agriculture, decreases manual intervention, and improves resource utilization efficiency by integrating sensors, actuators, and predictive models. This method offers a useful addition to sustainable and adaptive agricultural automation.

Keywords: *Internet of Things, Multi Layer Perceptron, Automatic Irrigation, Precision Agriculture, Tomato Plant.*

Copyright © 2025 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah membantu transformasi di banyak bidang, termasuk pertanian. Internet of Things (IoT) adalah salah satu teknologi yang banyak digunakan. Ini memungkinkan perangkat elektronik terhubung melalui jaringan internet dan secara otomatis mengumpulkan, mengirim, dan memproses data. Dalam pertanian, teknologi ini digunakan untuk melacak dan mengendalikan berbagai parameter lingkungan seperti suhu, kelembaban tanah, dan kadar unsur hara tanah untuk meningkatkan ketepatan pertanian[1]. Pengelolaan penyiraman dan pemupukan merupakan dua aspek penting dalam budidaya tanaman yang sangat menentukan kualitas dan produktivitas hasil panen. Namun, proses ini umumnya masih dilakukan secara manual tanpa mempertimbangkan kondisi aktual tanaman dan lingkungan secara *real-time*, yang menyebabkan pemborosan sumber daya dan potensi kesalahan dalam pemberian air maupun pupuk. Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan sistem otomatis yang mampu merespons kebutuhan tanaman secara akurat dan efisien[2].

Dalam budidaya tanaman, penyiraman dan pemupukan merupakan dua komponen penting yang sangat menentukan kualitas dan produktivitas hasil panen. Namun, biasanya, prosedur ini dilakukan secara manual tanpa mempertimbangkan kondisi tanaman dan lingkungan secara *real-time*, yang mengakibatkan pemborosan sumber daya dan kesalahan dalam pemberian air dan pupuk[3]. Disebabkan situasi ini, diperlukan pengembangan sistem otomatis yang dapat memenuhi kebutuhan tanaman secara akurat dan efisien[4].

Dalam sistem pertanian berbasis data, penggunaan algoritma pengajaran mesin adalah pendekatan strategis. *Multilayer Perceptron (MLP)* adalah salah satu algoritma yang dapat mengklasifikasikan dan memprediksi data historis[5]. MLP adalah jenis jaringan saraf tiruan yang dapat mendeteksi pola non-linear dari berbagai parameter lingkungan, seperti suhu, kelembaban tanah, dan tingkat nitrogen, fosfor, dan kalium (NPK) dalam tanah. Sistem prediksi berbasis MLP dapat menawarkan waktu dan jumlah penyiraman yang lebih presisi dan pemupukan melalui proses pelatihan dan pengujian model[6].

Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang dan membangun sistem perawatan tanaman tomat otomatis berbasis *Internet of Things* yang dapat memprediksi kebutuhan penyiraman dan pemupukan dengan menggunakan algoritma MLP. Diharapkan sistem ini akan meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan air, mengurangi penggunaan tangan, dan mendukung praktik pertanian yang lebih cerdas dan berkelanjutan[7].

Penelitian yang dilakukan oleh berbagai pihak sebelumnya juga memanfaatkan algoritma *Multilayer Perceptron (MLP)* untuk keperluan prediksi pada domain yang berbeda. Penelitian pertama memanfaatkan MLP untuk memprediksi jumlah penerimaan mahasiswa baru di Universitas Semarang dengan menggunakan data time series tahun 2008 hingga 2017, memanfaatkan normalisasi Minmax serta fungsi aktivasi tansig, dan menemukan arsitektur terbaik pada konfigurasi 5-9-1 dengan nilai MSE yang sangat rendah baik pada data pelatihan maupun pengujian[8]. Penelitian kedua menerapkan MLP untuk memprediksi daya beli mobil konsumen berdasarkan atribut gender, usia, dan pendapatan tahunan, menggunakan dataset publik Kaggle, serta membandingkan dua pendekatan konfigurasi yaitu *default* dan *hyperparameter tuning*. Hasil menunjukkan *tuning hyperparameter* dengan *learning rate* 0,001 menggunakan *optimizer* RMSprop memberikan akurasi tertinggi mencapai 92%, lebih baik dibanding Adam[9]. Sementara itu, penelitian ketiga memanfaatkan MLP untuk memprediksi jumlah kedatangan wisatawan mancanegara ke Indonesia per bulan berdasarkan data kebangsaan, dengan pendekatan *backpropagation*, normalisasi data, dan evaluasi MSE, yang menghasilkan akurasi 82% hingga 97% pada beberapa bulan tertentu[10]. Berbeda dengan penelitian tersebut, penelitian ini fokus pada penerapan MLP dalam memprediksi kebutuhan penyiraman dan pemupukan tanaman tomat dengan integrasi *Internet of Things (IoT)* yang secara otomatis membaca data kelembaban tanah dan kadar NPK melalui sensor, kemudian memprosesnya pada *mikrokontroler* ESP32 untuk mengaktifkan pompa air atau pupuk berdasarkan hasil prediksi MLP. Sistem ini dilengkapi dengan antarmuka *mobile* berbasis MIT App Inventor melalui protokol MQTT sehingga dapat mendukung praktik pertanian presisi, mengoptimalkan penggunaan air dan pupuk, serta meminimalkan intervensi manual secara adaptif dan berkelanjutan.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 *Internet of Things (IoT)*

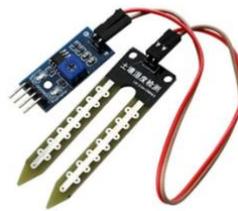
Internet of Things (IoT) merupakan konsep pemanfaatan konektivitas internet yang terus aktif terhubung, dengan tujuan mengintegrasikan berbagai perangkat agar dapat saling berkomunikasi melalui jaringan[11]. Dengan adanya IoT, sistem diharapkan mampu membantu manusia dalam menjalankan tugas maupun pekerjaan secara lebih mudah. Dalam penerapannya, IoT memerlukan protokol khusus untuk mengatur sirkulasi data yang berlangsung. IoT sendiri pada dasarnya adalah sebuah jaringan otomatisasi yang tersusun atas komponen-komponen seperti sensor, modul, dan periferi yang terhubung ke internet. Sistem ini dirancang agar memungkinkan proses pemantauan

serta pengendalian jarak jauh, sehingga pengguna dapat memonitor dan mengoperasikan perangkat dengan efektif tanpa harus berada pada lokasi yang sama[12].

Teknologi *Internet of Things (IoT)* dipilih dalam pengembangan bidang pertanian karena memiliki kemampuan yang sangat sesuai untuk menjawab berbagai tantangan yang dihadapi petani secara elektronik. IoT memungkinkan terhubungnya berbagai perangkat dalam satu sistem sehingga dapat memantau kondisi tanaman secara menyeluruh, termasuk mendeteksi gejala penyakit, aktivitas hama, serta tingkat kesuburan tanah melalui sensor yang terintegrasi. Selain itu, dukungan teknologi komunikasi nirkabel memfasilitasi pemantauan kondisi cuaca dan iklim secara *real-time*. Perangkat berbasis IoT juga mampu menjadwalkan proses penyiraman, pemupukan, maupun penyemprotan pestisida secara otomatis, sehingga dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi ketergantungan terhadap tenaga kerja manual, serta mendukung penerapan pertanian presisi yang adaptif dan berkelanjutan[13].

2.2 *Capacitive Soil Moisture Sensor (Sensor kelembaban tanah)*

Sensor kelembaban tanah kapasitif ini pada dasarnya berfungsi untuk mengetahui seberapa banyak kandungan air yang ada di dalam tanah. Cara kerjanya cukup sederhana: sensor ini memiliki dua buah probe yang mengalirkan arus listrik melalui tanah. Dari situ, sensor akan mengukur seberapa besar hambatan listrik yang terjadi. Jika tanahnya basah, arus listrik akan lebih mudah mengalir karena hambatannya rendah. Sebaliknya, saat tanah mulai kering, arus listrik sulit mengalir sehingga hambatannya jadi tinggi. Sensor ini menghasilkan sinyal dalam bentuk tegangan analog yang kemudian diterjemahkan oleh *mikrokontroler* menjadi sinyal digital, sehingga data kadar air tanah bisa terbaca dengan jelas. Menariknya, sensor ini juga tergolong murah sehingga banyak digunakan dalam berbagai aplikasi monitoring tanah[14].



Gambar 1. Soil Sensor

2.3 *NPK Sensor*

Sensor tanah NPK merupakan alat yang dirancang khusus untuk mengukur kadar nitrogen, fosfor, dan kalium dalam tanah. Dengan alat ini, tingkat kesuburan tanah dapat dipetakan secara lebih sistematis berdasarkan konsentrasi ketiga unsur hara utama tersebut. Sensor ini dilengkapi probe berbahan baja tahan karat yang dapat ditanam langsung ke dalam tanah dalam jangka waktu lama tanpa khawatir mengalami kerusakan akibat elektrolisis, garam, maupun korosi alkali. Berkat ketahanannya, sensor ini cocok digunakan pada berbagai jenis tanah, baik tanah alkali, tanah asam, media substrat, lahan persemaian, maupun tanah campuran seperti dedak kelapa. Kehadiran sensor ini mempermudah proses pemantauan nutrisi tanah sehingga pengelolaan lahan dapat dilakukan lebih tepat sasaran[15].



Gambar 2. Sensor NPK tanah

2.4 *RTC1307*

RTC (Real Time Clock) merupakan sebuah rangkaian terpadu yang berfungsi menyimpan serta menyediakan informasi waktu secara lengkap, mulai dari detik, menit, jam, hingga tanggal, bulan, dan tahun. Komponen ini sangat penting dalam berbagai sistem yang membutuhkan pengaturan waktu nyata (*real time*). Seiring berkembangnya teknologi, perangkat elektronik semakin dituntut untuk memiliki ukuran yang lebih ringkas. Jika menggunakan modul RTC konvensional, ukuran

keseluruhan perangkat bisa menjadi lebih besar karena harus menambahkan rangkaian terpisah hanya untuk fungsi penanggalan dan penunjuk waktu. Oleh sebab itu, kini banyak *mikrokontroler* yang dilengkapi RTC terintegrasi sebagai salah satu fitur sistem-pada-chip, sehingga dapat menyediakan data waktu dan tanggal secara mandiri tanpa perlu modul tambahan. Hal ini tentu membantu memperkecil desain perangkat sekaligus meningkatkan efisiensi sistem[16].



Gambar 3. RTC1307

2.5 Motor Pump 12v

Mesin listrik memegang peranan penting dalam menunjang aktivitas manusia di era modern. Hampir seluruh bidang kehidupan telah memanfaatkan mesin listrik, mulai dari peralatan rumah tangga, mesin industri, sistem robotik, komputer, transportasi, hingga perangkat audio dan video. Secara umum, mesin listrik dibedakan menjadi dua jenis, yaitu mesin arus bolak-balik (AC) dan mesin arus searah (DC). Dari keduanya, mesin DC merupakan tipe yang paling sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Mesin DC sendiri dapat berfungsi sebagai generator maupun motor. Ketika digunakan sebagai generator DC, energi mekanik yang diterima akan diubah menjadi energi listrik melalui putaran jangkar yang digerakkan oleh penggerak utama, sehingga menghasilkan daya listrik. Sebaliknya, jika berperan sebagai motor DC, mesin ini akan menerima energi listrik untuk kemudian diubah menjadi energi mekanik yang menghasilkan gerak[17].

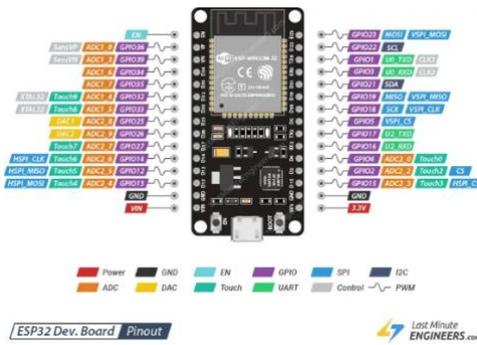


Gambar 4. Motor Pump 12v

2.6 Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler merupakan sebuah sistem komputer lengkap yang dikemas dalam satu chip. Di dalamnya sudah terintegrasi inti prosesor, memori (baik berupa RAM, memori program, atau keduanya), serta modul input-output. *Mikrokontroler* menjadi salah satu komponen mendasar dalam suatu sistem komputer. Walaupun ukurannya jauh lebih kecil dibandingkan komputer pribadi maupun mainframe, *mikrokontroler* tetap dibangun dari elemen dasar yang sama. Pada prinsipnya, mikrokontroler akan memproses input yang diterima sesuai instruksi program di dalamnya, lalu menghasilkan output tertentu sebagai respon dari proses tersebut[18].

Pada penelitian ini digunakan *mikrokontroler* ESP32. ESP32 sendiri merupakan produk keluaran Espressif Systems yang menjadi penerus dari seri ESP8266. *Mikrokontroler* ini telah dilengkapi modul WiFi terintegrasi di dalam chip, sehingga sangat mendukung pengembangan aplikasi berbasis *Internet of Things*. Gambar pin out ESP32 memperlihatkan konfigurasi kaki-kaki yang tersedia, di mana pin tersebut dapat difungsikan sebagai input maupun output. Dengan fleksibilitas ini, ESP32 dapat digunakan untuk mengendalikan berbagai perangkat, seperti menyalakan LCD, lampu, hingga menggerakkan motor DC[19].



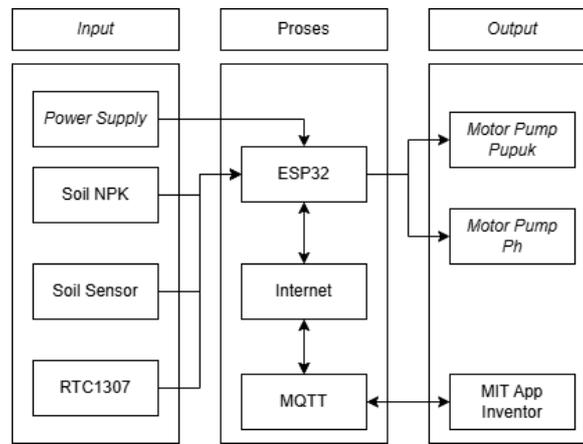
Gambar 5. ESP32

3. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk menciptakan, membangun, dan menguji sistem perawatan tanaman tomat otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)*, penelitian ini menggunakan metode penelitian dan pengembangan (R&D). Mengembangkan solusi teknologi yang dapat meningkatkan efisiensi penyiraman dan pemupukan melalui prediksi berdasarkan data sensor lingkungan adalah tujuan utama dari metode ini.

3.1. Arsitektur Sistem

Tiga komponen utama terdiri dari sistem: (1) unit akuisisi data; (2) unit pemrosesan dan pengendalian; dan (3) antarmuka pengguna. Sensor kelembaban tanah dan NPK membaca parameter lingkungan secara real-time di unit akuisisi data. *Mikrokontroler* ESP32 menerima data dari sensor dan berfungsi sebagai pusat kendali sistem. Selanjutnya, protokol komunikasi MQTT digunakan oleh *mikrokontroler* untuk mengolah dan mengirim data ke server.

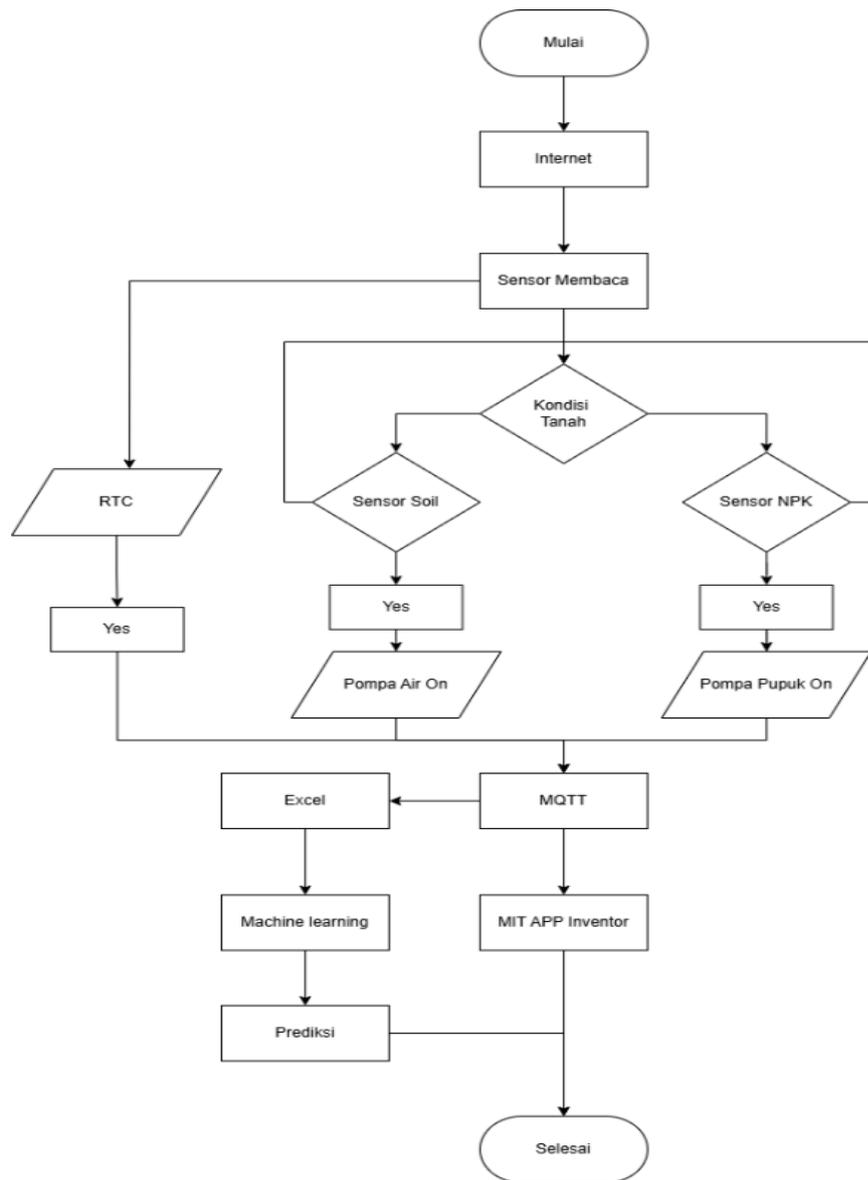


Gambar 6. Diagram Blok

Seluruh komponen diberi daya untuk mengaktifkan sistem. Selanjutnya, *mikrokontroler* ESP32 disambungkan ke internet melalui protokol MQTT untuk berkomunikasi dengan data dalam waktu nyata. Sensor kelembaban tanah dan sensor NPK digunakan untuk mengukur kondisi lingkungan seperti kadar air serta kandungan nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Untuk analisis, data sensor dikirim ke ESP32. Sistem otomatis mengaktifkan pompa air saat kelembaban rendah. Pompa pupuk akan mengirimkan pupuk cair jika kandungan nutrisi di bawah ambang batas. Menggunakan modul RTC1307, waktu operasi dicatat agar sesuai jadwal. Aplikasi mobile berbasis MIT App Inventor menerima semua data, yang memungkinkan pengawasan dan pengendalian jarak jauh. Pengendalian penyiraman dan pemupukan secara otomatis, efisien, dan adaptif dapat dicapai melalui integrasi sensor, *mikrokontroler*, aktuator, dan aplikasi. Metode pertanian presisi berbasis data dapat digunakan oleh sistem ini.

3.2. Pembentukan Aturan

Sistem berbasis *Internet of Things (IoT)* ini dapat memprediksi kebutuhan perawatan tanaman tomat dengan menganalisis parameter sensor. Aturan tersebut terbentuk dari proses identifikasi kondisi lingkungan seperti kelembaban tanah dan kadar unsur hara (NPK), yang dikumpulkan oleh sensor kelembaban tanah dan sensor NPK. yang ditunjukkan pada gambar 2 berikut.



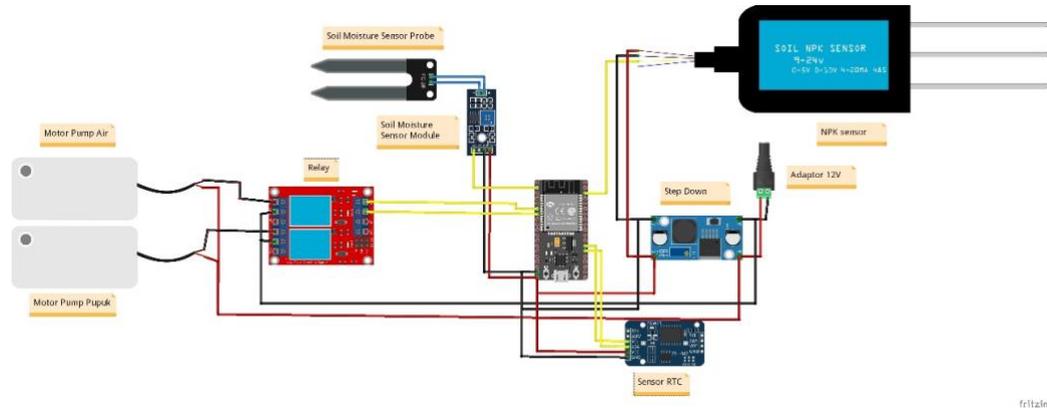
Gambar 7. Flowchart

Setelah semua komponen aktif, sistem monitoring dan perawatan tanaman bekerja secara otomatis. Proses dimulai dengan menghubungkan ke internet menggunakan protokol MQTT untuk komunikasi real-time. Sensor kelembaban tanah dan sensor NPK digunakan untuk mengukur kadar air dan unsur hara (N, P, K). Pompa air diaktifkan ketika ada sedikit kelembaban dan pompa pupuk dihidupkan secara otomatis ketika ada sedikit nutrisi. Modul RTC mengawasi aktivitas sistem, dan data sensor dikirim ke aplikasi *mobile* yang dibangun menggunakan MIT App Inventor. Kondisi tanah dapat dipantau secara langsung dengan aplikasi ini dan dikontrol secara manual. Untuk memperkirakan kebutuhan perawatan, sistem juga memiliki model prediksi MLP yang dilatih dengan data sebelumnya. Sistem ini efisien, adaptif, dan mendukung pertanian presisi berkat integrasi sensor, otomatisasi, dan prediksi berbasis pengajaran mesin.

3.3. Rangkaian Kelistrikan

Tahap selanjutnya, setelah membuat diagram alir yang menunjukkan alur kerja sistem, adalah merancang sistem kelistrikan untuk menggambarkan proses yang telah dirancang. Logika sistem diterapkan ke dalam hubungan antar komponen elektronik rangkaian ini. Ini termasuk proses mengambil data dari sensor, mengaktifkan aktuator, dan secara otomatis mengontrol output. Setiap komponen, seperti *mikrokontroler*, sensor, modul RTC, dan aktuator, terhubung secara fungsional

sesuai dengan fungsinya, sehingga mereka dapat secara fisik menunjukkan sistem kerja dalam operasi riil. Gambar berikut menunjukkan konfigurasi sistem kelistrikan.

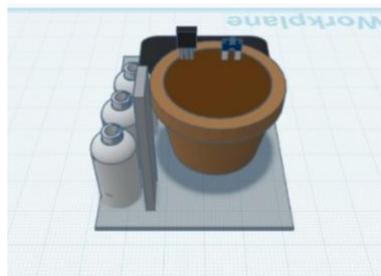


Gambar 8. Rangkaian Kelistrikan

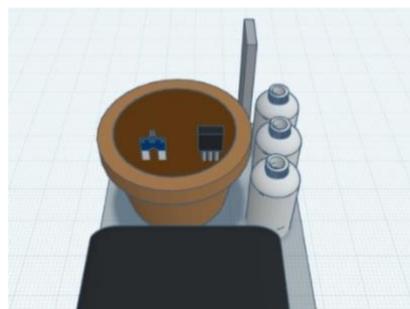
Relay sebagai saklar elektronik untuk pompa air dan pupuk, dan kemudian diturunkan menjadi 5V melalui modul step-down untuk mendukung sensor dan modul lainnya. Sementara sensor NPK mengukur unsur hara seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), sensor kelembaban tanah mendeteksi kadar air. Mikrokontroler ESP32 menerima data dari dua sensor dan dikirim ke dalamnya untuk analisis. Sementara data NPK digunakan untuk mengukur kesuburan tanah, informasi tentang kelembaban digunakan untuk menentukan jumlah air yang diperlukan untuk penyiraman. Untuk menjadwalkan penyiraman dan pemupukan secara otomatis, modul RTC menyediakan referensi waktu. ESP32 berfungsi sebagai pusat kontrol dan mengendalikan aktivasi pompa berdasarkan hasil sensor. Dua pompa dikontrol: satu untuk penyiraman dan satu lagi untuk penambahan nutrisi. Layar LCD menampilkan informasi dalam waktu nyata seperti kelembaban, kadar NPK, dan waktu operasi. Dengan sistem ini, perawatan tanaman dilakukan secara otomatis, efektif, dan tidak membutuhkan intervensi pengguna.

3.4. Desain 3 Dimensi

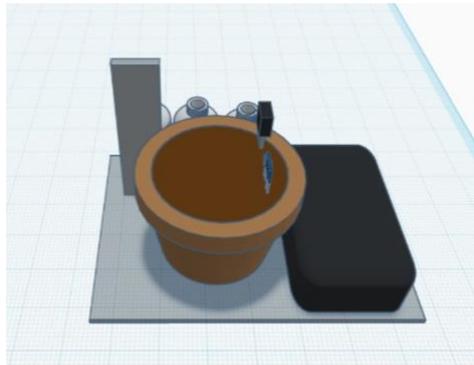
Setelah rangkaian kelistrikan dirancang dan disimulasikan untuk memastikan bahwa tiap komponen berfungsi dengan benar, langkah berikutnya adalah membuat desain tiga dimensi untuk menggambarkan sistem secara fisik. Tahap ini mencakup penempatan komponen, tata letak rangkaian, dan aspek ergonomis instalasi perangkat, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 9. Desain tampak kiri



Gambar 10. Desain tampak kanan



Gambar 11. Desain tampak atas

Desain 3D menunjukkan sistem yang bergantung pada *Internet of Things* untuk memantau dan mengelola kondisi tanah. Sistem ini dimaksudkan untuk membantu pertanian yang efektif dan berkelanjutan dengan menjaga kelembaban dan kadar nutrisi (NPK) tanah secara otomatis. Kelembaban dan kadar nitrogen, fosfor, dan kalium adalah dua pengukur utama yang digunakan. Dengan menganalisis data yang dikirim ke *mikrokontroler* ESP32, modul RTC mengatur waktu untuk mengaktifkan pompa air atau pupuk secara otomatis. Untuk memungkinkan pemantauan jarak jauh secara *real-time*, seluruh komponen ditempatkan dalam kotak pelindung dan terhubung ke aplikasi *mobile* berbasis MIT App Inventor melalui protokol MQTT. Kombinasi ini menghasilkan solusi otomatisasi pertanian yang fleksibel dan berhasil.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil pengujian sensor soil

Tabel pertama menunjukkan hasil tes sensor tanah untuk mendeteksi kelembaban tanah.

Tabel 1. Hasil pengujian sensor soil

| No | Waktu | Kelembapan Sebelum (%) | Kelembapan Sesudah (%) | Status Penyiraman |
|----|-------|------------------------|------------------------|-------------------|
| 1 | 06:00 | 30 | 45 | Disiram |
| 2 | 07:00 | 33 | 46 | Disiram |
| 3 | 08:00 | 38 | - | Tidak Disiram |
| 4 | 09:00 | 31 | 44 | Disiram |
| 5 | 10:00 | 36 | - | Tidak Disiram |
| 6 | 11:00 | 29 | 43 | Disiram |
| 7 | 12:00 | 34 | 48 | Disiram |
| 8 | 13:00 | 37 | - | Tidak Disiram |
| 9 | 14:00 | 32 | 46 | Disiram |
| 10 | 15:00 | 39 | - | Tidak Disiram |

Hasil pengujian yang dilakukan pada sepuluh waktu berbeda dalam satu hari menunjukkan bahwa sistem penyiraman otomatis yang bergantung pada sensor kelembaban tanah beroperasi secara responsif. Sistem secara otomatis mengaktifkan pompa air ketika kelembaban turun di bawah 35%, misalnya antara jam 06:00 dan 14:00. Setelah penyiraman, kelembaban meningkat dari 27–33% menjadi 42–47%. Sebaliknya, pada jam 8:00, 10:00, 13:00, dan 15:00, kelembaban sudah ideal (lebih dari 35%), sehingga pompa tidak digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa data sensor dapat membantu sistem mengambil keputusan secara otomatis dan menghindari kesalahan. Pada budidaya tanaman tomat, penggunaan sensor tanah terbukti efektif untuk menjaga kelembaban yang ideal dan meningkatkan efisiensi penggunaan air.

4.2 Hasil pengukuran sensor NPK

Tabel kedua menunjukkan hasil pengukuran NPK total tanah.

Tabel 2. Hasil pengukuran sensor NPK

| No | Waktu | Total NPK Sebelum (mg/kg) | Total NPK Sesudah (mg/kg) | Status Pemupukan |
|----|-------|---------------------------|---------------------------|------------------|
| 1 | 06:00 | 56 | 103 | Dipupuk |
| 2 | 07:00 | 58 | 106 | Dipupuk |
| 3 | 08:00 | 93 | - | Tidak Dipupuk |

| No | Waktu | Total NPK Sebelum (mg/kg) | Total NPK Sesudah (mg/kg) | Status Pemupukan |
|----|-------|---------------------------|---------------------------|------------------|
| 4 | 09:00 | 54 | 99 | Dipupuk |
| 5 | 10:00 | 89 | - | Tidak Dipupuk |
| 6 | 11:00 | 55 | 101 | Dipupuk |
| 7 | 12:00 | 59 | 106 | Dipupuk |
| 8 | 13:00 | 96 | - | Tidak Dipupuk |
| 9 | 14:00 | 57 | 98 | Dipupuk |
| 10 | 15:00 | 88 | - | Tidak Dipupuk |

Hasil pengukuran total NPK tanah dengan sensor menunjukkan adanya pola yang jelas dalam sistem pemupukan otomatis tanaman tomat. Ketika jumlah NPK total berada di bawah kisaran ideal, biasanya di bawah 65 mg/kg, sistem mengidentifikasi kekurangan nutrisi dan secara otomatis mengaktifkan pompa untuk memberikan pupuk NPK. Proses ini terjadi pada pukul 06:00, 07:00, 09:00, 11:00, 12:00, dan 14:00. Setelah pemupukan, kadar NPK rata-rata meningkat dari 54-59 mg/kg menjadi 98-106 mg/kg. Saat itu, kadar NPK sudah mencukupi pada pukul 8:00, 10:00, 13:00, dan 15:00, jadi sistem tidak menyiram pupuk. Hasil ini menunjukkan bahwa penggabungan sensor NPK dengan sistem otomatis dapat mengoptimalkan pemupukan secara tepat, menjaga keseimbangan nutrisi tanah, dan mendukung pertumbuhan tanaman tomat secara efektif.

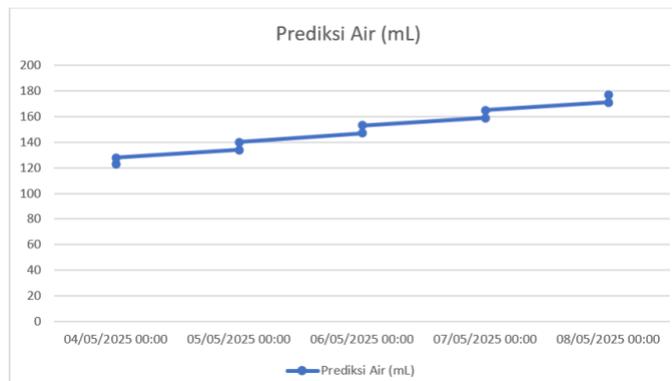
4.3 Hasil prediksi satu bulan

Tabel ketiga menunjukkan hasil prediksi satu bulan

Tabel 3. Hasil prediksi satu bulan

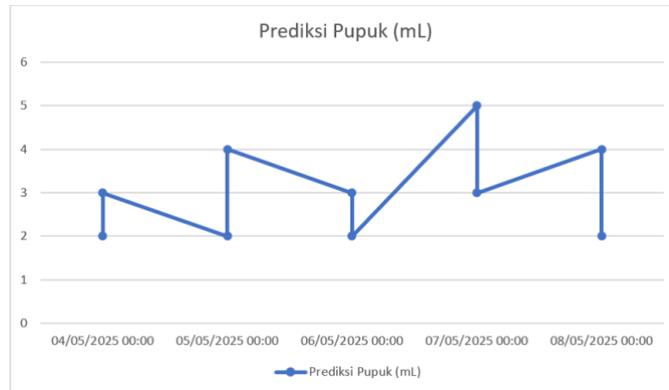
| No | Tanggal & Waktu | Jam | Prediksi Air (mL) | Prediksi Pupuk (mL) |
|----|------------------|-------|-------------------|---------------------|
| 1 | 04/05/2025 06:23 | 06:23 | 123 | 2 |
| 2 | 04/05/2025 16:42 | 16:42 | 128 | 3 |
| 3 | 05/05/2025 07:05 | 07:05 | 134 | 2 |
| 4 | 05/05/2025 17:14 | 17:14 | 140 | 4 |
| 5 | 06/05/2025 06:18 | 06:18 | 147 | 3 |
| 6 | 06/05/2025 16:53 | 16:53 | 153 | 2 |
| 7 | 07/05/2025 06:39 | 06:39 | 159 | 5 |
| 8 | 07/05/2025 17:12 | 17:12 | 165 | 3 |
| 9 | 08/05/2025 07:04 | 07:04 | 171 | 4 |
| 10 | 08/05/2025 16:48 | 16:48 | 177 | 2 |

Tabel yang ditampilkan berisi data hasil prediksi kebutuhan air dan pupuk pada tanaman selama periode 4–8 Mei 2025. Setiap baris memuat informasi tanggal, waktu pengambilan data, serta takaran air dan pupuk yang disarankan. Dari tabel terlihat pengambilan data dilakukan dua kali sehari, yaitu pagi dan sore. Kebutuhan air tampak meningkat secara bertahap dari 123 mL menjadi 177 mL seiring berjalannya hari, menandakan kemungkinan meningkatnya kebutuhan air tanaman atau perubahan kondisi lingkungan (seperti suhu dan kelembaban). Sebaliknya, kebutuhan pupuk bervariasi pada rentang 2–5 mL, yang umumnya lebih dipengaruhi oleh status unsur hara tanah.



Grafik 1 menggambarkan tren prediksi kebutuhan air (dalam mL) terhadap waktu pengambilan data. Dari grafik ini tampak adanya pola kenaikan yang cukup konsisten dari hari ke hari. Ini menunjukkan bahwa sistem prediksi mendeteksi peningkatan kebutuhan air tanaman selama periode tersebut.

Lonjakan yang stabil ini bisa jadi berkaitan dengan kondisi iklim yang lebih panas atau fase pertumbuhan tanaman yang memerlukan lebih banyak air.



Grafik 2 menampilkan pola prediksi kebutuhan pupuk (dalam mL) dalam kurun waktu yang sama. Berbeda dengan grafik air, grafik ini memperlihatkan fluktuasi yang tidak terlalu teratur. Nilai prediksi pupuk naik-turun antara 2 hingga 5 mL tanpa tren linear yang jelas. Hal ini wajar karena penyerapan dan kebutuhan pupuk biasanya tidak meningkat secara terus-menerus setiap hari, melainkan disesuaikan dengan kondisi aktual nutrisi tanah yang dideteksi.

4.4 Hasil ringkasan arsitektur model MLPRegressor (*Mult-layer Perceptron* untuk regresi)

Gambar berikut menunjukkan hasil ringkasan arsitektur model *Multi-Layer Perceptron* untuk Regresi (MLPRegressor).

```

STRUKTUR MLPRegressor
Input Neuron : 2
Output Neuron : 1
Hidden Layers : 2
Neurons per Layer: (20, 10)
Aktivasi Hidden : relu
Aktivasi Output : identity (linear)
Optimasi : adam
Epoch Maksimal : 1000

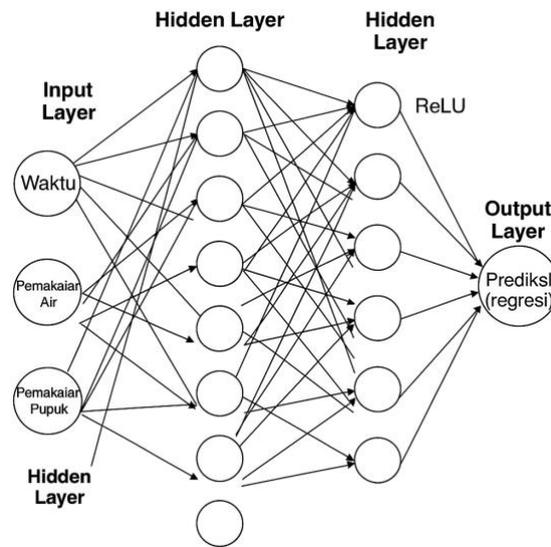
PARAMETER
Total Bobot (weights): 250
Total Bias (biases): 31
Total Parameter : 281
/usr/local/lib/python3.11/dist-packages/sklearn/neural_network/_multilayer_perceptron.py:691: ConvergenceWarning: Stochastic Optimizer: Maximum
warnings.warn(
    
```

Gambar 12 Hasil ringkasan arsitektur

Arsitektur model MLPRegressor ditunjukkan dalam gambar 8. Ada dua neuron input (Hari dan Jam), dua lapisan tersembunyi yang mengandung 20 dan 10 neuron, dan satu neuron output untuk menghasilkan prediksi nilai kontinu seperti jumlah air atau pupuk. Karena digunakan untuk regresi, model menggunakan aktivasi ReLU pada lapisan tersembunyi dan fungsi linear pada outputnya. Algoritma Adam digunakan untuk optimalisasi hingga 1000 epoch. Dengan 250 bobot dan 31 bias, model memiliki 281 parameter yang dapat dioptimasi. Namun, peringatan konvergensi dari sklearn muncul, menunjukkan bahwa pelatihan belum mencapai konvergensi optimal sebelum iterasi maksimum tercapai. Untuk mengatasi masalah ini, peneliti dapat melakukan normalisasi data atau meningkatkan max_iter. Secara umum, model ini mampu menggambarkan hubungan *non-linear* antara waktu dan kebutuhan tanaman, dengan performa yang dipengaruhi oleh kualitas dan jumlah data pelatihan.

4.5 Representasi arsitektur

Gambar 9 berikut menunjukkan representasi arsitektur jaringan saraf tiruan tipe *feedforward* yang digunakan dalam regresi.



Gambar 13 Representasi arsitektur

Arsitektur jaringan saraf tiruan tipe *feedforward* untuk regresi digunakan untuk memprediksi kebutuhan air atau pupuk berdasarkan waktu, seperti yang ditunjukkan pada gambar. Untuk menghasilkan nilai prediksi kontinu, model ini memiliki tiga neuron input (waktu, jumlah air, dan pupuk sebelumnya), dua lapisan tersembunyi (10 dan 20 neuron) dengan fungsi aktivasi ReLU, dan satu neuron output dengan aktivasi linear. Algoritma optimisasi Adam digunakan untuk mengubah bobot antar neuron selama pelatihan berdasarkan error yang dibuat. Dengan desain ini, model dapat menangkap hubungan non-linear dan pola historis, seperti kebiasaan harian atau musiman. Oleh karena itu, ini dapat digunakan dengan baik dalam sistem prediktif berbasis Internet of Things untuk otomatisasi pengairan dan pemupukan tanaman.

5. KESIMPULAN

Sistem perawatan tomat berbasis *Internet of Things (IoT)* yang menggunakan algoritma *Multi-Layer Perceptron (MLP)* untuk memprediksi jumlah penyiraman dan pemupukan yang dibutuhkan tanaman dapat dirancang dan diimplementasikan dengan sukses. Sistem bekerja secara otomatis dengan membaca kondisi lingkungan melalui sensor kelembaban tanah dan sensor NPK. Kemudian, berdasarkan ambang batas yang telah ditentukan, pompa air atau pupuk diaktifkan. Protokol MQTT digunakan untuk mengirimkan data sensor ke aplikasi *mobile* berbasis MIT App Inventor secara *real-time*. Ini memungkinkan pemantauan dan kendali jarak jauh. Model MLP dapat memprediksi kebutuhan air dan pupuk dengan akurat dan konsisten menggunakan data historis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan untuk meningkatkan efektivitas penggunaan sumber daya air dan pupuk serta merespons dengan baik perubahan kondisi tanah. Selain itu, sistem ini membantu menerapkan pertanian presisi berbasis data dan mengurangi keterlibatan tangan. Penelitian ini menemukan bahwa pendekatan yang digunakan sangat efektif dan dapat berfungsi sebagai solusi potensial untuk otomatisasi manajemen berkelanjutan lahan hortikultura.

Untuk penelitian mendatang, disarankan agar proses konvergensi model MLP dapat ditingkatkan melalui penerapan normalisasi data yang lebih optimal atau dengan menambah jumlah iterasi saat pelatihan. Selain itu, prediksi juga dapat diarahkan pada interval waktu harian agar lebih relevan dengan kebutuhan operasional di lapangan. Penelitian selanjutnya juga diharapkan dapat memperluas objek kajian pada jenis tanaman lain, serta mengintegrasikan sistem ini dengan fitur pengendalian hama otomatis, sehingga mampu memperkuat implementasi konsep pertanian pintar secara lebih komprehensif.

REFERENSI

- [1] Savira, et al, "eduFarm: Aplikasi Petani Milenial untuk Meningkatkan Produktivitas di Bidang Pertanian," *Automata*, vol. 1, no. 2, pp. 28–38, 2020.
- [2] G. Heru Sandi and Y. Fatma, "Pemanfaatan Teknologi Internet of Things (Iot) Pada Bidang Pertanian," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 7, no. 1, pp. 1–5, 2023.
- [3] E. Alfonsius, W. Kalengkongan, and S. C. W. Ngangi, "Sistem Monitoring Dan Kontroling Prototype Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis Iot (Internet of Things)," *J. Teknoinfo*, vol. 18, no. 1, pp. 44–55, 2024.
- [4] A. Galih Mardika and R. Kartadie, "Mengatur Kelembaban Tanah Menggunakan Sensor Kelembaban

- Tanah YL-69 Berbasis Arduino Pada Media Tanam Pohon Gaharu,” *JOEICT (Jurnal Educ. Inf. Commun. Technol.)*, vol. 3, no. 2, pp. 130–140, 2019.
- [5] S. Dwiyatno, E. Krisnaningsih, D. Ryan Hidayat, and Sulistiyono, “S Smart Agriculture Monitoring Penyiraman Tanaman Berbasis Internet of Things,” *PROSISKO J. Pengemb. Ris. dan Obs. Sist. Komput.*, vol. 9, no. 1, pp. 38–43, 2022..
- [6] N. Nasution, M. Rizal, D. Setiawan, and M. A. Hasan, “IoT Dalam Agrobisnis Studi Kasus : Tanaman Selada Dalam Green House,” *It J. Res. Dev.*, vol. 4, no. 2, pp. 86–93, 2019.
- [7] F. Susanto, N. K. Prasiani, and P. Darmawan, “Implementasi Internet of Things Dalam Kehidupan Sehari-Hari,” *J. Imagine*, vol. 2, no. 1, pp. 35–40, 2022.
- [8] K. Khoirudin, D. Nurdiyah, and N. Wakhidah, “Prediksi Penerimaan Mahasiswa Baru Dengan Multi Layer Perceptron,” *J. Pengemb. Rekayasa dan Teknol.*, vol. 14, no. 1, p. 1, 2019.
- [9] M. Iqbal, Hendri Mahmud Nawawi, M. R. Ramadhan Saelan, M. Sony Maulana, Yudhistira, and A. Mustopa, “Optimasi Hyperparameter Multilayer Perceptron Untuk Prediksi Daya Beli Mobil,” *J. Manaj. Inform. dan Sist. Inf.*, vol. 6, no. 1, pp. 73–81, 2023.
- [10] H. Mukhtar, R. Muhammad, T. Reny Medikawati, and Yoze Rizki, “Peramalan Kedatangan Wisatawan Mancanegara Ke Indonesia Menurut Kebangsaan Perbulannya Menggunakan Metode Multilayer Perceptron,” *J. CoSciTech (Computer Sci. Inf. Technol.)*, vol. 2, no. 2, pp. 113–119, 2021.
- [11] K. Wulandari, D. A. Wardana, H. M. Issyatirrahim, U. Islam, N. Syarif, and H. Jakarta, “Analisis Implementasi Internet Of Things (IoT),” vol. 9, no. 1, pp. 35–40, 2024.
- [12] Miftahul Walid, H. Hoiriyah, and A. Fikri, “Pengembangan Sistem Irigasi Pertanian Berbasis Internet Of Things (IoT),” *J. Mnemon.*, vol. 5, no. 1, pp. 31–38, 2022.
- [13] I. P. Sari, A. Novita, A.-K. Al-Khowarizmi, F. Ramadhani, and A. Satria, “Pemanfaatan Internet of Things (IoT) pada Bidang Pertanian Menggunakan Arduino UnoR3,” *Blend Sains J. Tek.*, vol. 2, no. 4, pp. 337–343, 2024.
- [14] A. Hardiwiguna and A. R. Nugraha, “Penentuan Kelembaban Tanah Menggunakan Metode Fuzzy Logic Dengan Capacitive Soil Moisture Sensor Dan Arduino Uno R3,” vol. 12, no. 3, 2024.
- [15] R. Rustan, F. Dwi Ramadhan, M. F. Afrianto, L. Handayani, A. Puji Lestari, and F. Manin, “Perancangan Alat Pengukur Kadar Unsur Hara Npk Pupuk Kompos,” *J. Online Phys.*, vol. 8, no. 1, pp. 55–60, 2022.
- [16] S. A. Kurniawan and M. Taufik, “Rancang Bangun Solar Tracker Sumbu Tunggal Berbasis Motor Stepper Dan Real Time Clock,” *J. Ilm. Teknol. dan Rekayasa*, vol. 26, no. 1, pp. 1–12, 2021.
- [17] M. Kontroler *et al.*, *Pengendalian kecepatan motor pompa air 12v dc menggunakan kontroler pid dengan variasi debit air pada perkebunan hidroponik*. 2021.
- [18] T. Kusuma and M. T. Mulia, “Perancangan Sistem Monitoring Infus Berbasis Mikrokontroler Wemos D1 R2,” *Konf. Nas. Sist. Inf. 2018*, vol. 1, no. 1, pp. 1422–1425, 2018.
- [19] A. Imran and M. Rasul, “Pengembangan Tempat Sampah Pintar Menggunakan Esp32,” *J. Media Elektr.*, vol. 17, no. 2, pp. 2721–9100, 2020.