

Optimasi Nutrisi Melon Berbasis IoT dan *Machine Learning*

Raden Tuhibagus Ahmad Khaerudin Sazira^{*1}, Muhammad Rakha Buana², Djahra Rachmawaty³, Laras Desfiyanti⁴, Dandi Novian Pratama⁵, Muhammad Rafi Riza Pratama⁶, Inna Novianty⁷, Hafiedh Adi Nugroho⁸

^{1,2,3,4,5,6}Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer, IPB University, ⁷Dosen Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer, IPB University, ⁸Balai Besar Perakitan dan Modernisasi Sumber Daya Lahan Pertanian

*e-mail: ahmadsaiziraden@apps.ipb.ac.id¹, rakhabuana@apps.ipb.ac.id², djahrarachmawaty@apps.ipb.ac.id³, sayalaras@apps.ipb.ac.id⁴, dandinovian@apps.ipb.ac.id⁵, rafirizapratama@apps.ipb.ac.id⁶, innanovianty@apps.ipb.ac.id⁷, hafiedh.an@gmail.com⁸

Abstract

*Melon (*Cucumis melo* L.) is a high-value horticultural commodity; however, its production stability still faces various challenges, particularly in nutrient management. This study aimed to develop an Internet of Things (IoT)- and machine learning-based nutrient optimization system to determine precise nutrient doses for melon cultivation. The research employed a Research and Development (R&D) approach through the design of an ESP32-based system integrated with pH, Total Dissolved Solids (TDS), and greenhouse microclimate sensors (temperature and humidity). The Random Forest algorithm was applied to analyze 543 observation records consisting of air temperature, air humidity, water temperature, pH, and plant growth stage parameters to accurately predict nutrient requirements. System testing was conducted in the greenhouse of the Center for Agricultural Land Resource Assembly and Modernization (BRMP SDLP) through the integration of hardware and a web-based platform for remote monitoring and control. The results showed that the system was capable of providing precise nutrient dose predictions during both vegetative and generative growth stages of melon plants. The developed machine learning model achieved an accuracy of 98%, while sensor calibration results showed an accuracy range of 81–95%. The proposed system supports more efficient melon cultivation through real-time nutrient monitoring and control.*

Keywords: *Internet of Things, Machine Learning, Melon, Nutrient Optimization, Random Forest*

Abstrak

Melon (*Cucumis melo* L.) merupakan komoditas hortikultura bernilai ekonomi tinggi, namun stabilitas produksinya masih menghadapi berbagai kendala, terutama dalam pengelolaan nutrisi tanaman. Penelitian ini bertujuan merancang sistem optimasi nutrisi berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *machine learning* untuk menentukan dosis nutrisi secara presisi pada budidaya melon. Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* (RnD) melalui perancangan sistem berbasis mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor pH, *Total Dissolved Solids* (TDS), serta sensor iklim mikro greenhouse (suhu dan kelembaban). Algoritma Random Forest diterapkan untuk menganalisis 543 data pengamatan yang terdiri atas parameter suhu udara, kelembaban udara, suhu air, pH, dan fase pertumbuhan tanaman guna memprediksi kebutuhan nutrisi secara akurat. Pengujian sistem dilakukan di greenhouse Balai Perakitan dan Modernisasi Sumber Daya Lahan Pertanian (BRMP SDLP) melalui integrasi perangkat keras dan platform website sebagai media pemantauan dan pengendalian jarak jauh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan prediksi dosis nutrisi secara presisi pada fase vegetatif dan generatif tanaman melon. Model *machine learning* yang dikembangkan memperoleh tingkat akurasi sebesar 98%, sedangkan hasil kalibrasi sensor menunjukkan tingkat akurasi antara 81–95%. Sistem yang dikembangkan mampu mendukung efisiensi budidaya melon melalui pemantauan dan pengendalian nutrisi secara *real-time*.

Kata Kunci: *Internet of Things, Machine Learning, Melon, Nutrisi, Random Forest*

1. PENDAHULUAN

Melon (*Cucumis melo* L.) merupakan komoditas hortikultura bernilai ekonomi tinggi yang banyak dibudidayakan di Indonesia karena memiliki permintaan pasar yang terus

meningkat (Apriliyani et al., 2025). Kualitas buah melon sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan budidaya, terutama ketersediaan nutrisi, suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya selama fase pertumbuhan tanaman. Ketidakesesuaian pemberian nutrisi dapat menyebabkan penurunan kualitas serta menurunnya produktivitas tanaman (Al Ghifary et al., 2025). Selain itu, ketidakseimbangan nutrisi dapat menyebabkan penurunan kualitas buah, seperti kadar kemanisan yang rendah, ukuran buah tidak seragam, penurunan bobot panen, hingga meningkatnya risiko serangan penyakit tanaman (Farisi et al., 2026).

Penggunaan *greenhouse* menjadi salah satu solusi dalam budidaya melon *modern* karena mampu menciptakan lingkungan tumbuh yang lebih terkendali dibandingkan budidaya konvensional di lahan terbuka (Apriyani et al., 2025). *Greenhouse* memungkinkan pengaturan suhu, kelembapan, pencahayaan, dan sistem irigasi secara lebih optimal sehingga tanaman dapat tumbuh lebih stabil sepanjang musim (Adek et al., 2024). Namun, pengelolaan nutrisi melon di *greenhouse* masih dilakukan secara manual sehingga pemantauan pH dan TDS sering terlambat merespons perubahan kondisi nutrisi dan iklim mikro *greenhouse*. (Ridha et al., 2025). Kondisi tersebut mengakibatkan penggunaan pupuk dan air menjadi kurang efisien serta menurunkan kualitas hasil panen.

Pada budidaya melon hidroponik, kebutuhan nutrisi tanaman berubah sesuai fase pertumbuhannya (Ridha et al., 2025). Fase vegetatif memerlukan dominasi unsur nitrogen untuk mendukung pertumbuhan daun dan batang, sedangkan fase generatif membutuhkan keseimbangan unsur fosfor dan kalium untuk pembentukan buah dan peningkatan kadar kemanisan (Awliya et al., 2022). Ketidaktepatan pemberian nutrisi pada kedua fase tersebut dapat menghambat pertumbuhan tanaman dan menurunkan kualitas hasil panen (Ikhsan & Aini, 2023). Selain itu, perubahan lingkungan *greenhouse* yang dinamis membatasi akurasi penentuan nutrisi berbasis aturan tetap dan ambang batas sederhana (Khoerudin et al., 2025). Sistem statis cenderung kurang adaptif terhadap perubahan suhu, kelembapan, maupun intensitas cahaya yang terjadi secara *real-time* (Wardihani et al., 2024).

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan peluang besar dalam penerapan sistem pertanian cerdas (*smart farming*) (Austria et al., 2023). Hal ini dibuktikan dengan penelitian Al Ghifary et al. (2025) mengembangkan *greenhouse* berbasis ESP32 untuk budidaya melon pada lahan sempit dengan integrasi sensor DHT11, sensor kelembapan tanah, dan sensor cahaya yang terhubung dengan *platform ThingSpeak* serta aplikasi *mobile*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kestabilan lingkungan *greenhouse* dan mendukung pertumbuhan tanaman melon secara optimal. Namun, penelitian tersebut masih berfokus pada monitoring lingkungan dan belum mengintegrasikan algoritma *machine learning* untuk memprediksi kebutuhan maupun dosis nutrisi tanaman secara presisi berdasarkan kondisi aktual *greenhouse* (Al Ghifary et al., 2025).

Selain itu, Putra et al. (2024) telah mengembangkan sistem monitoring cerdas berbasis IoT pada tanaman tomat cherry menggunakan mikrokontroler ESP32 dan lima sensor lingkungan yang terintegrasi dengan platform cloud. Sistem tersebut menerapkan algoritma *Random Forest* untuk memprediksi pertumbuhan tanaman dan memperoleh nilai R^2 sebesar 0,8939, yang menunjukkan performa prediksi yang baik. Namun, penelitian tersebut masih berfokus pada prediksi pertumbuhan tanaman dan belum mengintegrasikan *machine learning* untuk menentukan kebutuhan atau dosis nutrisi tanaman secara presisi. (Putra et al., 2024).

Algoritma *Random Forest* sendiri merupakan salah satu metode *ensemble learning* berbasis *decision tree* yang memiliki keunggulan dalam menangani data dengan banyak variabel dan hubungan non-linier (Firnanda et al., 2025). Metode ini bekerja dengan membangun banyak pohon keputusan (*decision trees*) secara acak kemudian menggabungkan hasil prediksi dari masing-masing pohon untuk meningkatkan akurasi dan mengurangi risiko *overfitting* (Vivianti et al., 2024). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa *Random Forest* memiliki

performa yang lebih stabil dibandingkan metode klasifikasi lainnya, terutama pada data yang kompleks dan memiliki banyak parameter lingkungan (Syahputri & Hasibuan, 2024). Namun, penelitian yang secara khusus mengintegrasikan sistem monitoring nutrisi dengan algoritma *machine learning* untuk menentukan dosis nutrisi tanaman melon secara presisi masih relatif terbatas. Selain itu, belum banyak penelitian yang mengembangkan sistem terpadu berbasis *website* untuk monitoring dan pengendalian nutrisi greenhouse melon secara *real-time* pada kondisi iklim mikro yang dinamis (Hemal et al., 2025).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan sistem optimasi nutrisi tanaman melon berbasis *Internet of Things* dan *machine learning* menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor pH, sensor TDS, dan sensor iklim mikro greenhouse. Sistem dikembangkan menggunakan algoritma *Random Forest* untuk menganalisis data sensor secara simultan dan menentukan dosis nutrisi secara presisi sesuai fase vegetatif dan generatif tanaman melon. Selain itu, sistem diintegrasikan dengan *platform website* sehingga pengguna dapat melakukan monitoring dan pengendalian nutrisi secara *real-time* dari jarak jauh. Penelitian ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi, menjaga stabilitas pertumbuhan tanaman melon, serta mendukung implementasi pertanian cerdas yang lebih adaptif, presisi, dan berkelanjutan pada greenhouse BRMP SDLP.

2. METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam pengembangan sistem optimasi nutrisi tanaman melon berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *machine learning* ini adalah metode *Research and Development* (R&D). Metode ini digunakan karena penelitian tidak hanya berfokus pada kajian teoritis, tetapi juga pada proses perancangan, pengembangan, implementasi, dan pengujian sistem secara langsung pada lingkungan greenhouse BRMP SDLP [1]. Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis mulai dari studi literatur, observasi lapangan, pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak, akuisisi data sensor, implementasi algoritma *Random Forest*, hingga pengujian sistem monitoring dan otomatisasi nutrisi secara *real-time*.

METODE LITERATUR

Metode literatur dilakukan dengan mengumpulkan berbagai referensi terkait budidaya melon hidroponik, kebutuhan nutrisi tanaman, teknologi *Internet of Things* (IoT), serta implementasi algoritma *Random Forest* pada sistem pertanian cerdas. Referensi diperoleh dari buku, jurnal nasional, jurnal internasional, prosiding konferensi, dan artikel ilmiah yang relevan. Tahapan ini bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai standar parameter nutrisi tanaman melon seperti pH dan *Total Dissolved Solids* (TDS), kebutuhan unsur hara pada fase vegetatif dan generatif, serta metode implementasi sistem monitoring berbasis sensor dan mikrokontroler [2].

METODE OBSERVASI

Metode observasi dilakukan melalui pengamatan langsung terhadap kondisi greenhouse dan sistem budidaya melon di BRMP SDLP. Observasi berfokus pada perangkat keras sistem berupa mikrokontroler ESP32 dan sensor terintegrasi yang digunakan sebagai instrumen pengumpulan data. Sensor yang digunakan meliputi sensor pH, sensor TDS, sensor DHT11 untuk suhu dan kelembapan udara, serta sensor suhu air. Pengujian dilakukan secara langsung di greenhouse untuk memperoleh data kondisi lingkungan dan nutrisi tanaman secara *real-time* [3].

METODE AKUISISI DATA

Metode akuisisi data dilakukan dengan mengumpulkan 543 data hasil pembacaan sensor pH, TDS, suhu air, suhu udara, dan kelembapan udara secara berkala di greenhouse. Sensor pH

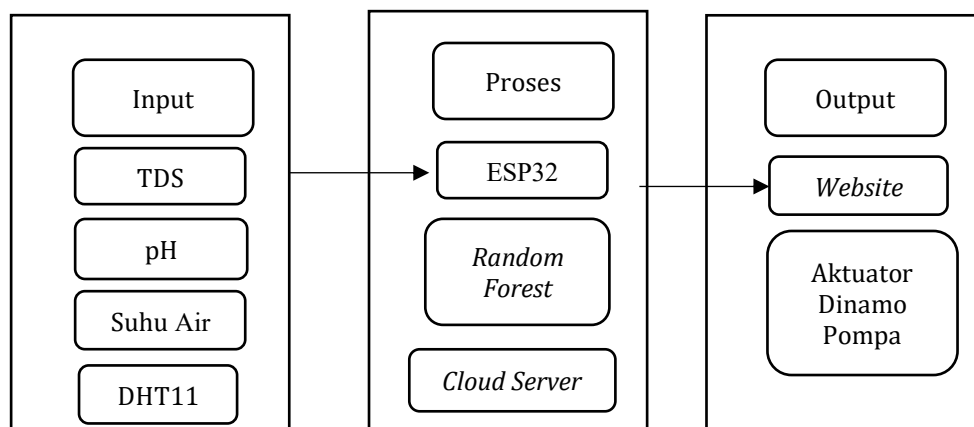
dan TDS terlebih dahulu dikalibrasi menggunakan metode regresi linear dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur standar manual. Hasil kalibrasi menunjukkan tingkat akurasi sebesar 89,35%, sehingga sensor dinilai layak digunakan.

Data kemudian melalui tahap *preprocessing* yang meliputi penghapusan *missing value*, data duplikat, dan normalisasi (*feature scaling*). Parameter input model terdiri atas suhu udara, kelembaban udara, suhu air, pH, dan fase pertumbuhan tanaman, sedangkan output model berupa prediksi dosis nutrisi A dan B. Dataset dibagi menjadi 434 data *training* dan 109 data *testing* (80:20). Selanjutnya, algoritma Random Forest dengan 100 *estimators* dilatih untuk memprediksi kebutuhan nutrisi tanaman melon berdasarkan kondisi lingkungan dan fase pertumbuhan tanaman [4].

PERANCANGAN SISTEM

1. Blok Diagram

Blok Diagram merupakan alur kerja antar komponen pada sistem optimasi nutrisi melon otomatis [5]. Pada tahap Input, sistem menggunakan empat sensor utama, yaitu sensor pH, sensor TDS, sensor DHT11 (iklim mikro), dan sensor suhu air. Sensor pH dan TDS berfungsi untuk menentukan kualitas larutan nutrisi secara akurat, yang nantinya akan dikirimkan sebagai basis data penentuan dosis. Sementara itu, DHT11 berperan dalam menangkap data suhu dan kelembapan lingkungan *greenhouse*. Data yang diperoleh dari empat sensor ini akan diteruskan ke tahap pemrosesan untuk dianalisis lebih lanjut.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

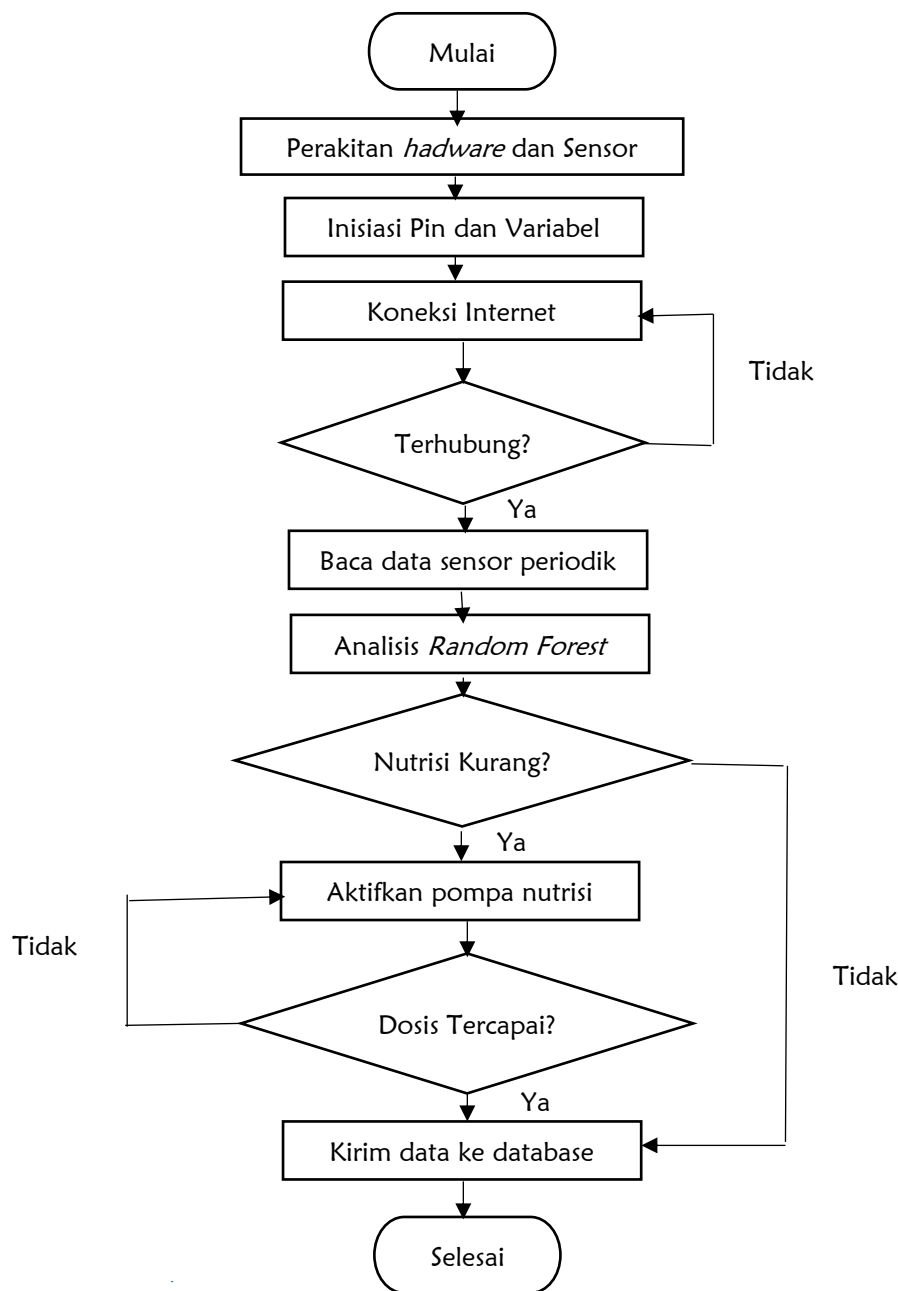
Tahap Proses dalam sistem ini melibatkan perangkat komputasi utama seperti pada Gambar 1, yaitu mikrokontroler ESP32. ESP32 bertanggung jawab dalam menghubungkan sistem ke jaringan internet melalui modul WiFi internal serta menangani komunikasi data yang diperoleh dari sensor-sensor. Data sensor kemudian dikirim ke *cloud server* untuk diolah menggunakan algoritma *Random Forest*. Algoritma ini berfungsi sebagai unit pemrosesan cerdas yang menentukan klasifikasi dosis nutrisi (vegetatif atau generatif) berdasarkan parameter lingkungan dan nutrisi aktual. Setelah hasil prediksi didapatkan, instruksi dikirim kembali ke ESP32 untuk menggerakkan aktuator.

Pada tahap *Output*, sistem akan mengeksekusi pemberian nutrisi melalui pompa peristaltik. Jika sistem mendeteksi bahwa kadar TDS di bawah ambang batas fase tanaman, pompa akan menyalurkan larutan AB Mix. Selain itu, informasi seluruh parameter akan ditampilkan pada *Dashboard Website* secara *real-time*. Dengan mekanisme ini, pengelola *greenhouse* BRMP SDLP dapat menerima data yang akurat dan memastikan tanaman mendapatkan nutrisi presisi.

2. Flowchart

Flowchart merupakan gambaran alur kerja dalam perancangan sistem optimasi nutrisi secara terperinci [6]. Pengguna harus merakit perangkat keras dan menempatkan sensor pada

aliran nutrisi, menghubungkan perangkat ke jaringan internet, dan sistem akan memulai pemantauan serta otomatisasi dosis nutrisi.



Gambar 2. *Flowchart* Cara

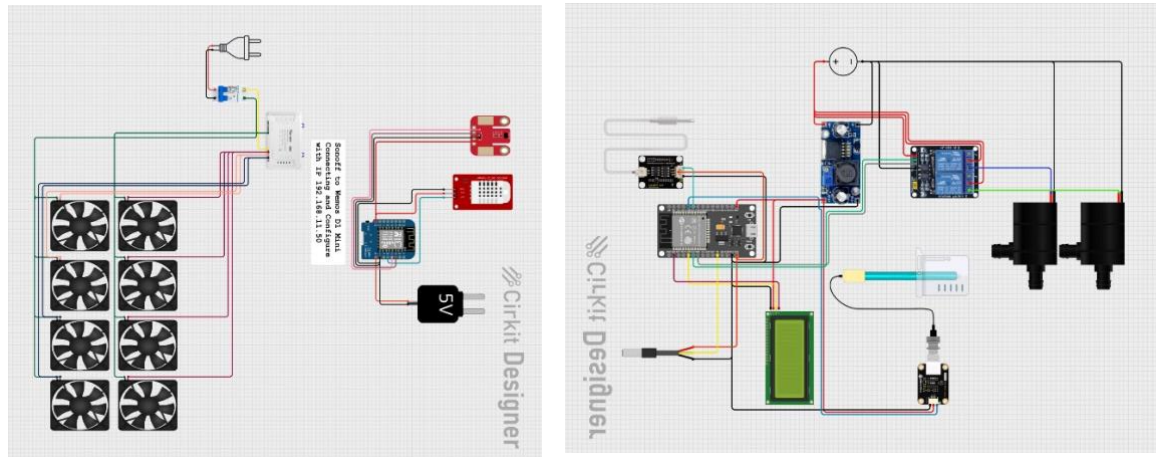
Pada Gambar 2, alur kerja sistem dijelaskan sebagai berikut: tahap pertama adalah inialisasi pin dan variabel, di mana ESP32 mengonfigurasi sensor pH, TDS, suhu air dan DHT11 agar berfungsi optimal. Setelah inialisasi selesai, sistem akan mencoba menghubungkan diri ke jaringan internet. Koneksi internet menjadi bagian krusial karena memungkinkan pengiriman data ke model *Machine Learning* secara *remote*.

Jika koneksi telah terjalin, sistem akan membaca data sensor secara periodik. Data tersebut dikirim ke server untuk diklasifikasikan oleh algoritma *Random Forest*. Jika hasil analisis menunjukkan nutrisi kurang, sistem akan mengambil langkah berikutnya, yaitu mengaktifkan pompa nutrisi. Setelah dosis tercapai, sistem akan mengirimkan data terbaru

ke *database* dan kembali ke siklus pemantauan awal. Sistem ini memiliki keunggulan dalam menjaga stabilitas nutrisi tanpa intervensi manual yang terus-menerus. Hasil pembacaan sensor akan tampil pada *dashboard website* monitoring.

3. Skema Rangkaian

Sistem optimasi nutrisi ini dibangun menggunakan pendekatan modular, di mana mikrokontroler ESP32 terhubung ke berbagai subsistem sensor dan aktuator melalui terminal blok standar guna memudahkan perakitan dan perawatan. Skema rangkaian elektronika sistem terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu subsistem monitoring iklim mikro dan subsistem kontrol nutrisi.



Gambar 3. Skema Rangkaian

Perancangan skema rangkaian pada Gambar 3 difokuskan pada subsistem kontrol nutrisi dan lingkungan mikro yang mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dengan berbagai komponen pendukung secara modular menggunakan terminal blok. Pada bagian input, sensor kepekatan larutan (TDS), sensor keasaman (pH), dan Suhu air dihubungkan melalui terminal khusus yang meneruskan sinyal analog ke pin ADC (*Analog-to-Digital Converter*) pada ESP32 untuk diproses menjadi data numerik. Untuk bagian output, sistem ini mengendalikan dua unit dinamo pompa 12V DC yang dialokasikan untuk distribusi nutrisi A dan B. Salah satu aspek penting dalam rancangan ini adalah penerapan isolasi jalur daya dengan menggunakan dua sumber catu daya DC 12V yang terpisah.

Catu daya pertama digunakan untuk mensuplai ESP32 melalui modul konverter tegangan (*step down*) 5V, sedangkan catu daya kedua didedikasikan sepenuhnya untuk beban motor pompa guna mencegah interferensi atau *noise* elektrik yang dapat mengganggu akurasi pembacaan sensor analog. Logika pengaktifan setiap pompa diatur melalui modul estafet (*relay*) yang dipicu oleh sinyal GPIO dari ESP32, sehingga memungkinkan pemberian dosis nutrisi secara otomatis dan presisi sesuai dengan instruksi dari model *machine learning*.

PENGUJIAN SISTEM

Alat optimasi nutrisi melon menggunakan catu daya berupa adaptor DC dengan tegangan 12 Volt dua Ampere yang diturunkan menggunakan regulator tegangan (*Step-down* 4R7) menjadi 5 Volt untuk menyuplai ESP32 dan modul sensor. Dengan bantuan sistem regulasi daya ini, alat dapat beroperasi secara stabil tanpa risiko *overvoltage*.

Setelah berhasil menyala, alat akan mencari sinyal WiFi yang telah diprogram pada kode sumber (Arduino IDE). Setelah sinyal terhubung dan sensor – sensor berhasil mendapatkan nilai pembacaan larutan, alat sudah siap digunakan. Pengujian dilakukan di Greenhouse BRMP SDLP dengan membandingkan hasil pembacaan alat terhadap alat ukur manual (pH meter *portable*, Hygrometer dan TDS meter). Jika galat pembacaan di bawah 5%, maka sistem dinyatakan valid

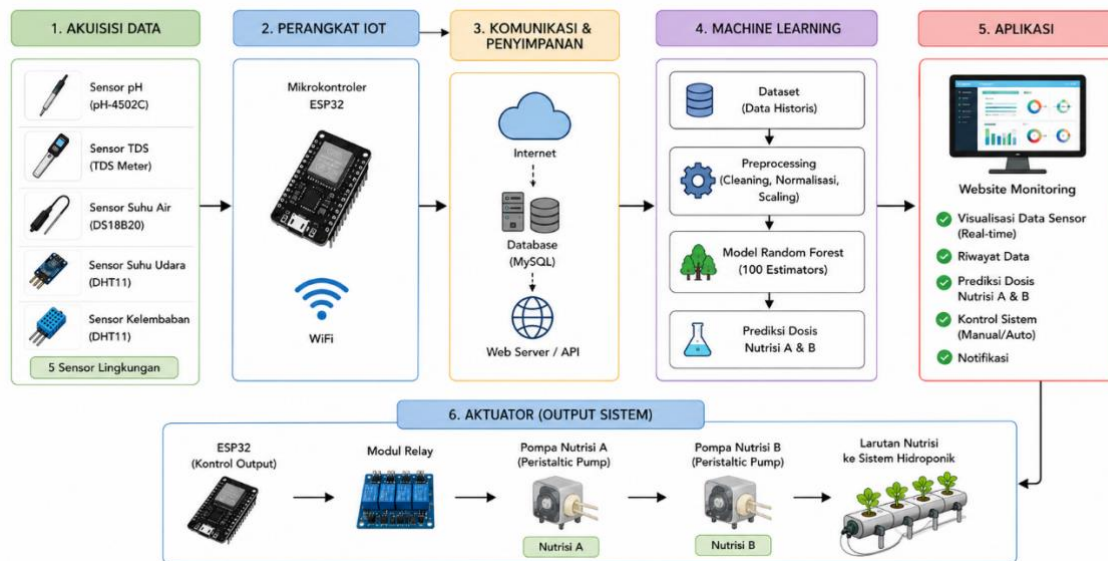
dan siap untuk melakukan eksekusi pompa nutrisi secara otomatis berdasarkan prediksi algoritma yang telah ditanamkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan hasil pengujian perangkat keras, evaluasi kinerja algoritma *machine learning Random Forest*, serta keberhasilan integrasi sistem IoT dengan platform *website* pemantauan.

Perancangan Diagram Arsitektur Sistem

Sistem alat ini dirancang melalui enam tahapan utama, yaitu akuisisi data, perangkat IoT, komunikasi dan penyimpanan data, machine learning, aplikasi monitoring, dan aktuator. Seluruh proses alur sistem secara *detail* dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah ini.



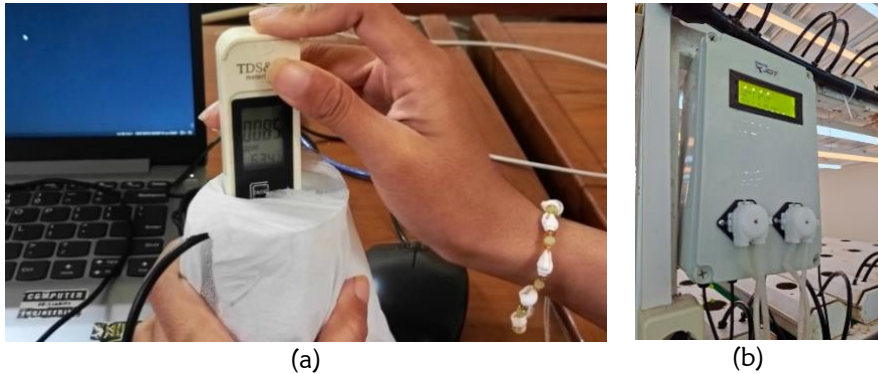
Gambar 4. Diagram Arsitektur Sistem

Pada tahap akuisisi data, sensor pH, sensor TDS, sensor suhu air (DS18B20), serta sensor suhu dan kelembaban udara (DHT11) digunakan untuk mengukur kondisi larutan nutrisi dan lingkungan greenhouse secara *real-time*. Data hasil pengukuran kemudian dikirim ke mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan dan komunikasi data. ESP32 mengirimkan data sensor melalui jaringan WiFi ke *database* dan web server untuk disimpan sebagai data historis sekaligus ditampilkan pada *website* monitoring. Data yang tersimpan selanjutnya digunakan sebagai dataset pada proses *machine learning*. Sebelum dilakukan pelatihan model, data melalui tahap *preprocessing* yang meliputi pembersihan data, penghapusan data duplikat, penanganan *missing value*, dan normalisasi data.

Model *Random Forest* dengan 100 *estimators* digunakan untuk mempelajari hubungan antara parameter lingkungan yang terdiri atas suhu udara, kelembaban udara, suhu air, pH, dan fase pertumbuhan tanaman terhadap kebutuhan nutrisi. Hasil pemrosesan model berupa prediksi dosis nutrisi A dan nutrisi B yang diperlukan oleh tanaman melon. Prediksi yang dihasilkan kemudian ditampilkan pada *website* monitoring sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem, riwayat data, dan rekomendasi dosis nutrisi secara *real-time*. Selanjutnya, ESP32 mengendalikan modul relay untuk mengaktifkan pompa nutrisi A dan pompa nutrisi B sesuai hasil prediksi yang diberikan oleh model. Larutan nutrisi yang telah dicampurkan kemudian dialirkan ke sistem hidroponik sehingga kebutuhan nutrisi tanaman dapat dipenuhi secara lebih presisi dan otomatis.

Implementasi dan Kalibrasi Sensor

Tahap pertama pengujian berfokus pada validasi pembacaan sensor yang terhubung dengan ESP32. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan nilai keluaran sensor terhadap instrumen ukur standar yang dilakukan dengan 5 titik pengukuran berbeda seperti pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. (a) Kalibrasi Alat (b) Implementasi alat

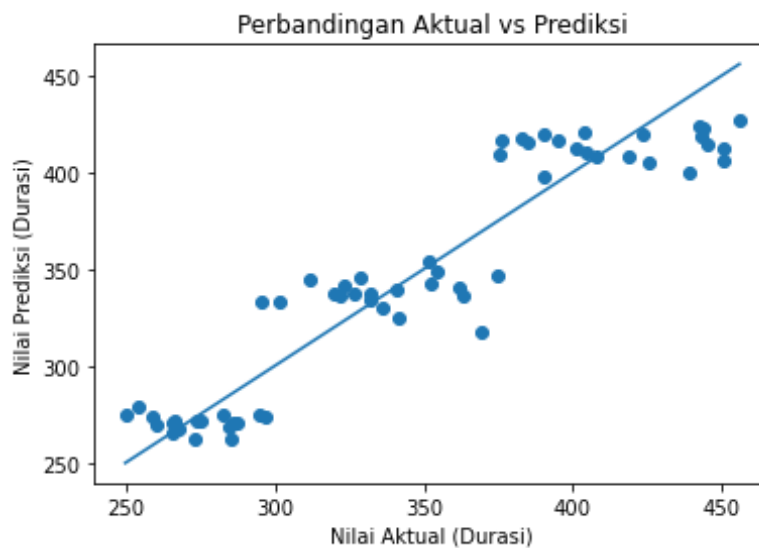
Setiap titik pengukuran dipilih untuk mewakili rentang nilai yang umum ditemui selama budidaya melon di *greenhouse*. Data hasil pembacaan sensor dan alat ukur standar kemudian dianalisis menggunakan metode regresi linear untuk memperoleh persamaan kalibrasi yang digunakan dalam proses koreksi nilai sensor. Hasil kalibrasi menunjukkan tingkat akurasi sistem berada pada rentang 81% hingga 95%. Tingkat akurasi ini dinilai memadai untuk menjamin keandalan data input sebelum diproses oleh algoritma kecerdasan buatan. Hasil akhir akurasi pembacaan sensor dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Kalibrasi Sensor

Parameter Sensor	Alat Ukur Standar	Akurasi (%)
Kelembapan (DHT11)	<i>Hygrometer</i>	89,81%
Suhu Udara (DHT11)	<i>Thermometer</i>	90,67%
Nilai pH Air	<i>pH Meter Portable</i>	93,71%
Kadar Nutrisi (TDS)	<i>TDS Meter Portable</i>	81,26%
Lux	<i>Lux Meter</i>	95,36%
Suhu Air	<i>TDS meter Portable</i>	85,30%

Evaluasi Implementasi *Machine Learning*

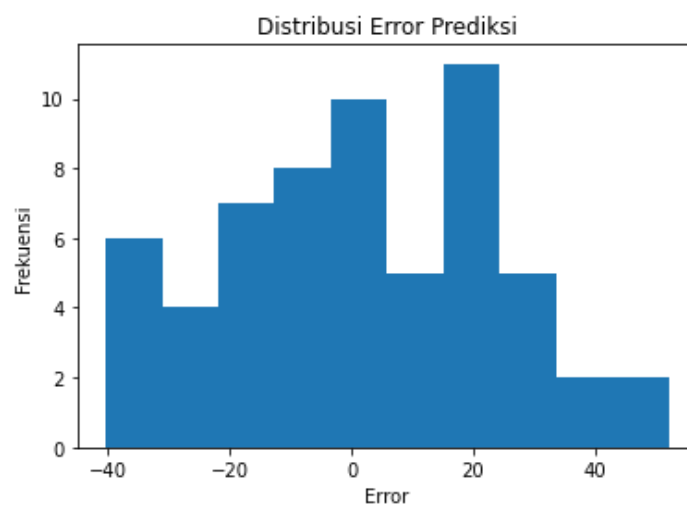
Pengujian model *Random Forest* dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam memprediksi kebutuhan nutrisi tanaman melon berdasarkan data sensor *greenhouse*. Berdasarkan hasil evaluasi regresi diperoleh nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 18,17 dan *R² Score* sebesar 0,8728. Nilai *R²* yang mendekati 1 menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan prediksi yang baik dalam menganalisis hubungan antara parameter pH, TDS, suhu, dan kelembapan terhadap kebutuhan nutrisi tanaman. Selain itu, berdasarkan grafik regresi pada Gambar 5, sebagian besar titik data berada di sekitar garis prediksi. Hal ini menunjukkan bahwa hasil prediksi model memiliki hubungan yang cukup kuat dengan data aktual sehingga model mampu melakukan prediksi nutrisi secara cukup akurat.



Gambar 6. Perbandingan Nilai Aktual dan Prediksi

Berdasarkan grafik regresi linear, terlihat bahwa sebagian besar titik data berada di sekitar garis regresi, yang mengindikasikan adanya hubungan linear positif antara kedua variabel. Hal ini menunjukkan bahwa sensor mampu mengikuti perubahan nilai yang terukur oleh alat standar dengan tingkat kesesuaian yang cukup baik. Meskipun terdapat beberapa titik data yang menyimpang dari garis regresi, secara keseluruhan pola sebaran data menunjukkan bahwa sensor memiliki performa yang memadai untuk digunakan dalam sistem monitoring dan optimasi nutrisi tanaman melon. Hasil ini didukung oleh nilai akurasi kalibrasi sebesar 89,35%, sehingga sensor dinilai layak digunakan sebagai sumber data pada sistem yang dikembangkan.

Sementara itu, histogram pada Gambar 6 menunjukkan distribusi data sensor yang cukup merata sehingga membantu proses pelatihan model menjadi lebih stabil. Hasil *Cross Validation* menunjukkan nilai rata-rata sebesar 0,8613 atau 86,13%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa model memiliki performa yang konsisten dan tidak mengalami overfitting yang signifikan pada berbagai data pengujian.

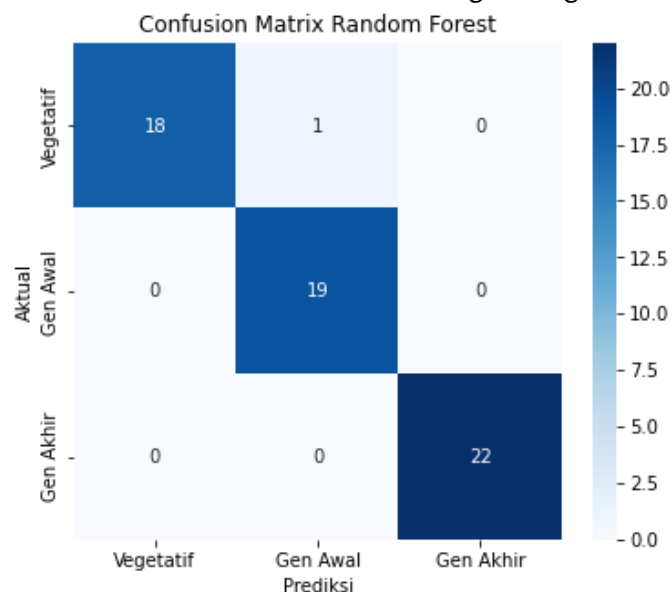


Gambar 7. Nilai Distribusi *Error*

Gambar 7 di atas juga menunjukkan distribusi error prediksi yang dihasilkan oleh model *Random Forest*. Sebagian besar nilai *error* terkonsentrasi pada rentang tertentu dan tidak

menunjukkan pola penyimpangan yang ekstrem. Sebaran *error* yang relatif merata mengindikasikan bahwa model mampu melakukan prediksi dengan tingkat kesalahan yang konsisten pada sebagian besar data pengujian. Meskipun masih terdapat beberapa error dengan nilai yang lebih besar, jumlahnya relatif sedikit dibandingkan keseluruhan data. Hasil ini menunjukkan bahwa model Random Forest yang dikembangkan memiliki kemampuan yang cukup baik dalam memprediksi kebutuhan nutrisi tanaman berdasarkan parameter lingkungan yang digunakan.

Berdasarkan hasil *Confusion Matrix* pada Gambar 7, model hanya mengalami satu kesalahan klasifikasi dari seluruh data pengujian. Tingkat akurasi klasifikasi yang diperoleh mencapai 98%, sehingga menunjukkan bahwa algoritma *Random Forest* mampu mengklasifikasikan kebutuhan nutrisi tanaman melon dengan sangat baik.

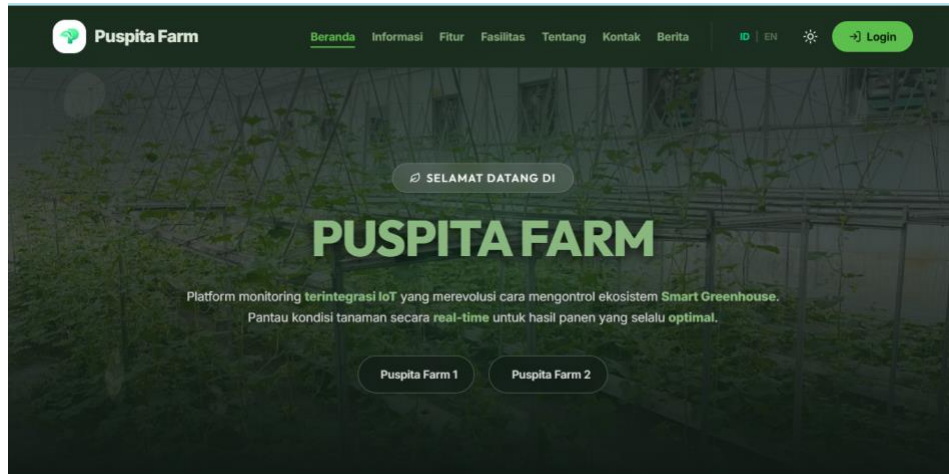


Gambar 8. Grafik *Confusion Matrix*

Sebanyak 18 data pada fase vegetatif, 19 data pada fase generatif awal, dan 22 data pada fase generatif akhir berhasil diprediksi dengan benar. Hanya terdapat satu kesalahan klasifikasi, yaitu satu data pada fase vegetatif yang diprediksi sebagai fase generatif awal. Tidak ditemukan kesalahan klasifikasi pada fase generatif awal maupun generatif akhir. Hasil ini menunjukkan bahwa model Random Forest memiliki kemampuan klasifikasi yang sangat baik dalam membedakan fase pertumbuhan tanaman berdasarkan parameter lingkungan yang digunakan. Tingginya jumlah prediksi yang tepat dibandingkan kesalahan klasifikasi mengindikasikan bahwa model mampu mengenali pola data dengan baik dan dapat digunakan sebagai dasar dalam proses prediksi kebutuhan nutrisi tanaman.

Implementasi Integrasi *Website*

Sistem optimasi nutrisi tanaman melon yang dikembangkan telah terintegrasi dengan platform website monitoring berbasis IoT pada alamat puspitafarm.bbsdip.com. *Website* ini berfungsi sebagai media monitoring dan pengendalian sistem greenhouse secara *real-time* sehingga pengguna dapat memantau kondisi tanaman dari jarak jauh melalui perangkat komputer maupun *smartphone*. Tampilan *dashboard website* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 9. Tampilan Website

Integrasi website dilakukan melalui komunikasi data antara mikrokontroler ESP32 dengan server menggunakan jaringan internet. Data hasil pembacaan sensor seperti pH, TDS, suhu, dan kelembapan dikirim secara periodik ke database kemudian ditampilkan pada dashboard monitoring. Melalui sistem ini, pengguna dapat mengetahui kondisi nutrisi dan lingkungan greenhouse secara langsung sehingga proses pengambilan keputusan dapat dilakukan lebih cepat dan akurat.

Selain menampilkan data sensor, website juga digunakan untuk memantau status pompa nutrisi dan hasil prediksi algoritma *Random Forest*. Sistem akan memberikan informasi kondisi nutrisi tanaman berdasarkan fase vegetatif maupun generatif secara otomatis. Integrasi website ini mendukung konsep *smart farming* karena seluruh proses monitoring dan pengendalian dapat dilakukan secara digital dan terhubung melalui internet.

Implementasi website monitoring pada greenhouse BRMP SDLP sejalan dengan konsep pertanian presisi modern yang memanfaatkan teknologi IoT untuk meningkatkan efisiensi budidaya dan pengelolaan nutrisi tanaman secara terukur.

4. PENUTUP

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem optimasi nutrisi tanaman melon berbasis *Internet of Things* (IoT) dan algoritma *Random Forest*. Sistem yang dikembangkan mampu melakukan pemantauan kondisi lingkungan greenhouse secara real-time serta memprediksi dosis nutrisi A dan B secara otomatis berdasarkan parameter suhu udara, kelembaban udara, suhu air, pH, dan fase pertumbuhan tanaman. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model *Random Forest* memiliki performa yang sangat baik dengan nilai R^2 sebesar 0,9993 dan akurasi klasifikasi sebesar 98%. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan mampu mendukung pengelolaan nutrisi tanaman melon secara lebih presisi dan efisien dibandingkan metode manual.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Ghifary, H. T., Maruf, M. S., Royyan, A. M., & Gunawan, G. (2025). Optimalisasi Budidaya Melon Hidroponik melalui Smart Farming Sistem NFT Berbasis IoT untuk Peningkatan Produktivitas dan Pemberdayaan Mitra di Osaka99 Agro Farm, Pati Utara, Jawa Tengah. *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia*, 5(5), 2319-2332. <https://doi.org/10.54082/jamsi.2096>.
- Apriliansa, Widodo, S., & Saputra, H. (2025). *IJRSE: Indonesian Journal of Informatic Research and Software Engineering Design and Construction of IoT-Based Hydroponic Plant Monitoring Tool Utilizing Liquid Fertilizer from Waste*. 5(2), 118-129.
- Apriliani, N., Fanani, M. Z., & Mulyaningsih, Y. (2025). Budidaya dan Analisis Usaha Melon (Cucumis melo L.) Secara Hidroponik di PT. LSU, Desa Cipayung Datar, Megamendung Bogor. *Jurnal Karimah Tauhid*, 4(2), 1106-1128.
- Apriyani, M. E., Ismail, A., & Widya Andini, A. (2025). Sistem Monitoring Budidaya Melon Melalui Greenhouse Berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 12(1), 187-194. <https://doi.org/10.25126/jtiik.2025129164>.
- Austria, A. C., Fabros, J. S., Sumilang, K. R., Bernardino, J., & Doctor, A. (2023). Development of IoT Smart Greenhouse System for Hydroponic Gardens. *International Journal of Computing Sciences Research*, 7, 2111-2136. <https://doi.org/10.25147/ijcsr.2017.001.1.149>.
- Awliya, N., Nurrachman, & Ernawati, N. M. L. (2022). Pengaruh Pemberian Pupuk P dan K dengan Dosis yang Berbeda terhadap Pertumbuhan dan Kualitas Buah Melon (Cucumis melo L.). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agrokomplek*, 1(1), 45-56.
- Ayu Firnanda, P., Shofwatillah, L., Rahma, F., Fauzi, F., Studi Statistika, P., Muhammadiyah Semarang, U., Kedungmundu No, J., Tembalang, K., & Tengah, J. (2025). Analisis Perbandingan Decision Tree dan Random Forest dalam Klasifikasi Penjualan Produk pada Supermarket. *Emerging Statistics and Data Science Journal*, 3(1).
- Eni Dwi Wardihani, Eka Ulia Sari, Helmy, Ari Sriyanto Nugroho, Yusnan Badruzzaman, Arif Nursyahid, Thomas Agung Setyawan, & Media Fitri Isma Nugraha. (2024). Pemantauan dan Pengendalian Parameter Greenhouse Berbasis IoT dengan Protokol MQTT. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, 13(1), 38-43. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v13i1.8564>
- Fawaiqur, A., Malik, M., & Mansyur, S. (2024). Prototype Sistem Monitoring Smart Greenhouse Berbasis Internet of Things (IoT) pada Tanaman Selada. *Jurnal Teknik Industri Manajemen dan Manufaktur Jurnal Teknik Industri Universitas Proklamasi 45*, 1(1), 25-38.
- Hemal, M. M., Saha, S., & Nur, K. (2025). An IoT and Machine Learning-driven Advanced Greenhouse Farming System for Precision Agriculture. *International Journal of Computing and Digital Systems*, 18(1). <https://doi.org/10.12785/ijcds/1571107236>.
- Ikhsan, A. R., & Aini, N. (2023). Pengaruh Penambahan Kalium dan Konsentrasi Giberelin terhadap Pertumbuhan dan Hasil Melon (Cucumis melo L.) Sistem Hidroponik. *Produksi Tanaman*, 11(4), 258264. <https://doi.org/10.21776/ub.protan.2023.011.04.06>.
- Kurniawan R., R., Siddik Hasibuan, M., & Pohan, R. S. (2023). Sistem Otomatis dan Monitoring pada Tanaman Melon Hidroponik Berbasis Iot Menggunakan Mikrokontroler dengan Logika Fuzzy Sugeno. *Walisono Journal of Information Technology*, 5(2), 155-165. <https://doi.org/10.21580/wjit.2023.5.2.17602>.
- Putra, V. H. C., Al-Husaini, M., Wahyu, A. P., & Raharja, A. R. (2024). Perancangan Sistem Monitoring Cerdas Berbasis Internet of Things (IoT) dengan Algoritma Random Forest Regression untuk Deteksi Ketinggian pada Tanaman Tomat Cherry. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 5(1), 10-25. <https://doi.org/10.57152/malcom.v5i1.1612>.
- Rusdi, B. M., & Supradi, Z. A. I. (2023). Rancang Bangun Alat Monitoring pH, Suhu dan Zat Terlarut pada Air Akuarium Ikan Mas Koki Berbasis IoT dengan Nodemcu ESP32. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 12(3), 77-86.
- Ridha, R., Ula, M., & Yunizar, Z. (2025). Monitoring dan Pengendalian Sistem Hidroponik Deep Flow Technique (DFT) pada Tanaman Melon Menggunakan Metode Rule Based Berbasis Internet of Things. *Jurnal Ilmiah Global Education*, 6(3), 1784-1791. <https://doi.org/10.55681/jige.v6i3.4158>
- Syahputri, C. N., & Hasibuan, M. S. (2024). Optimasi Klasifikasi Decision Tree dengan Teknik Pruning untuk Mengurangi Overfitting. *Jurnal Sistem Informasi*, 11(2), 87-96. <https://doi.org/10.30656/jsii.v11i2.9161>.

- Tjut Adek, R., Ula, M., & Tambarta Kembaren, E. (2024). Fuzzy Mamdani Smart Control for Optimizing Melon Growth in Nutrient Film Technique (NFT) Hydroponic Greenhouse. In *Original Research Paper International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering IJISAE*, 12(4), 3136-3144.
- Umar, U., Al Farouq, A., Widyantara, H., Ramadhana, A., & Putra, K. (2024). Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring pH, Suhu dan TDS pada Sistem akuaponik Berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Teknologi Terapan*, 10(1).
- Vivianti, N., & Pratiwi, M., Sari, F. (2024). Penerapan Metode Fuzzy Time Series Lee dalam Peramalan Penjualan Berbasis Web (Studi Kasus: Isan Ponsel Dumai). *Jurnal Teknologi Komputer dan Informasi*, 12(2), 114-132.
- Wijayanto, D., Silmina, E. P., Firdonsyah, A., & Aditiya, A. A. (2024). Prototype IoT untuk Pemantauan Nutrisi dan pH pada Hidroponik Menggunakan ESP32 di Kebun Hidroponik Vefar Yogyakarta. *Jurnal Teknologi Informasi*, 15(2), 100-106. <https://doi.org/10.52972/hoaq.vol15no2.p100-106>.