



PENGEMBANGAN SISTEM INTERNET OF THINGS TERINTEGRASI KECERDASAN BUATAN UNTUK PEMANTAUNAN KESUBURAN TANAH DALAM RANGKA OPTIMALISASI PERTANIAN PRESISI

Muhammad Luhung Aradhana ^{1*}, Nobiana Audrey Lie ², Joshua Marst Lintjewas ³, Brave Angkasa Sugiarto ⁴, Ade Yusupa ⁵, Sherwin R. U. Sompie ⁶, Wahyuni Fithratul Zalmi ⁷

^{1,2,3,4,5,6,7}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi
Kota Manado, Indonesia

E-mail: muhammadaradhana026@student.unsrat.ac.id^{1*}

nobianalie026@student.unsrat.ac.id^{2*}

joshualintjewas026@student.unsrat.ac.id^{3*}

brave@unsrat.ac.id^{4*}

ade@unsrat.ac.id^{5*}

aldo@unsrat.ac.id^{6*}

wahyuni.fithratul.zalmi@unsrat.ac.id^{7*}

^{7*}

ABSTRACT

This study aims to develop an Internet of Things system based on the ESP32 microcontroller integrated with an external Artificial Intelligence (AI) Application Programming Interface (API) to monitor and analyze soil fertility in real time. The system is designed to measure key soil fertility parameters, namely nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), and moisture levels, using an NPK sensor and a soil moisture sensor. The collected data are transmitted to a local server for AI processing, which then generates automated fertilizer recommendations based on soil fertility categories and delivers them to users via a Telegram Bot. The research employs the Research and Development (R&D) method using the Multimedia Development Life Cycle (MDLC) model, which includes the stages of concept, design, material collecting, assembly, and testing. The test results indicate that the system successfully detects NPK and moisture levels with good consistency, transmits data stably to the server, and generates fertilizer recommendations that align with the actual soil conditions. The integration of IoT and AI through API enhances the functional value of the system, as it not only presents raw data but also provides intelligent recommendations to assist farmers in decision-making. This system is expected to serve as an initial step toward the implementation of efficient, adaptive, and sustainable AI-based precision agriculture.

Keywords : Internet of Things, Artificial Intelligence, API, Soil Fertility, Fertilizer Recommendation.

Article History

Received: November 2025

Reviewed: November 2025

Published: November 2025

Plagiarism Checker No
235

Prefix DOI :

[10.8734/Kohesi.v1i2.365](https://doi.org/10.8734/Kohesi.v1i2.365)

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

**ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem Internet of Things (IoT) berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan Application Programming Interface (API) kecerdasan buatan (AI) eksternal guna memantau dan menganalisis kesuburan tanah secara real-time. Sistem ini dirancang untuk mengukur parameter utama kesuburan tanah, yaitu kadar nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), dan kelembapan menggunakan sensor NPK serta sensor kelembapan tanah. Data hasil pengukuran dikirim ke server lokal untuk diproses oleh AI, yang kemudian menghasilkan rekomendasi pemupukan otomatis berdasarkan kategori kesuburan tanah dan mengirimkannya kepada pengguna melalui Telegram Bot. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan model Multimedia Development Life Cycle (MDLC), yang meliputi tahapan concept, design, material collecting, assembly, dan testing. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi kadar NPK dan kelembapan dengan konsistensi yang baik, mengirimkan data secara stabil ke server, serta menghasilkan rekomendasi pemupukan yang sesuai dengan kondisi tanah. Integrasi antara IoT dan AI melalui API terbukti meningkatkan nilai fungsional sistem, karena tidak hanya menampilkan data mentah, tetapi juga memberikan rekomendasi cerdas yang membantu petani dalam pengambilan keputusan. Sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi awal menuju penerapan pertanian presisi berbasis AI yang efisien, adaptif, dan berkelanjutan.

Kata kunci : Internet of Things, Kecerdasan Buatan, API, ESP32
Kesuburan Tanah, Rekomendasi Pemupukan



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertanian modern semakin bergantung pada teknologi untuk mengatasi tantangan seperti degradasi tanah, keterbatasan sumber daya air, dan variabilitas iklim yang memengaruhi produktivitas lahan. Di Indonesia, di mana sektor hortikultura memainkan peran vital dalam ketahanan pangan, pemantauan kesuburan tanah menjadi kunci untuk mengoptimalkan penggunaan pupuk dan air, sehingga mengurangi pemborosan dan meningkatkan hasil panen. Namun, pendekatan tradisional sering kali mengabaikan variasi spasial di lahan, yang menyebabkan aplikasi pupuk berlebih atau kurang tepat, akhirnya berdampak pada lingkungan dan biaya produksi. Di sinilah peran Internet of Things (IoT) muncul sebagai solusi inovatif, memungkinkan pengumpulan data real-time dari sensor yang tersebar di lapangan untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat (Postolache et al., 2023).

Teknologi Internet of Things (IoT) telah terbukti efektif dalam pertanian presisi, terutama untuk memantau nutrisi tanah seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), yang esensial bagi pertumbuhan tanaman. Sistem berbasis IoT ini tidak hanya mengukur parameter tanah secara kontinu, tetapi juga mengintegrasikan analisis data untuk memberikan rekomendasi langsung kepada petani (Abu et al., 2022). Dengan memanfaatkan mikrokontroler seperti ESP32 yang terhubung ke sensor NPK dan kelembapan tanah, sistem IoT dapat mengumpulkan data lingkungan secara langsung dari lahan pertanian, sehingga data nutrisi dapat dikirimkan melalui jaringan nirkabel ke server pusat dan dikirimkan ke pengguna melalui media seperti telegram, sehingga tidak ada ketergantungan pada cloud computing yang berbiaya tinggi (Musa et al., 2024). Pendekatan ini membuka peluang untuk hortikultura skala kecil, di mana variasi tanah dan tanaman memerlukan pemantauan yang fleksibel dan hemat energi (Jawad et al., 2017),.

1.2 Rumusan Masalah

Sistem IoT konvensional umumnya hanya berfungsi sebagai alat pemantauan (monitoring system) yang menampilkan data sensor secara mentah tanpa kemampuan interpretasi lanjutan. Akibatnya, petani masih harus menafsirkan sendiri hasil pengukuran dan menentukan tindakan yang tepat berdasarkan pemahaman subjektif. Dalam konteks pertanian, interpretasi manual ini sering kali menyebabkan kesalahan dalam pengambilan keputusan, seperti dosis pupuk yang tidak sesuai atau waktu pemupukan yang tidak optimal.



Lagipula, melatih model AI generatif seperti LLM dapat memakan biaya berlebih, juga sumber daya besar dan waktu yang cukup panjang. Sehingga, integrasi antara sensor IoT dan kecerdasan buatan (AI) komersial seperti *deepseek* dapat menjadi langkah penting untuk meningkatkan nilai guna data sensor serta meminimalisir sumber daya yang diperlukan. Melalui pemrosesan berbasis AI, data mentah dari sensor dapat dikonversi menjadi rekomendasi yang informatif, kontekstual, dan mudah dipahami oleh pengguna, seperti saran jenis pupuk atau tindakan korektif yang perlu dilakukan (Lins et al., 2021). Berdasarkan rumusan masalah diatas, penelitian ini secara mendalam menjawab pertanyaan:

1. Bagaimana merancang sistem IoT berbasis ESP32 untuk memantau kesuburan tanah melalui pengukuran unsur NPK dan kelembapan secara real-time?
2. Bagaimana sistem IoT dapat mengirimkan informasi kepada pengguna dalam bentuk notifikasi teks dan visual yang mudah dipahami melalui platform Telegram?
3. Bagaimana mengintegrasikan data sensor IoT dengan model kecerdasan buatan agar sistem mampu menghasilkan rekomendasi otomatis terkait kebutuhan pemupukan lahan?

Penelitian ini mengusulkan integrasi antara IoT dan kecerdasan buatan (AI) melalui Application Programming Interface (API) eksternal, seperti model DeepSeek AI, yang berfungsi mengolah data sensor menjadi rekomendasi otomatis terkait kebutuhan pemupukan. Integrasi ini memungkinkan sistem tidak hanya mengukur, tetapi juga menganalisis dan memberikan keputusan berbasis data (data-driven decision support) kepada pengguna secara langsung melalui platform Telegram Bot. Dengan pendekatan ini, sistem diharapkan dapat membantu petani memahami kondisi tanah secara komprehensif, meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, serta mendukung penerapan pertanian presisi berbasis AI yang adaptif terhadap kondisi lapangan (Postolache et al., 2023), (Hajipour et al., 2023), (Syed et al., 2025).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) yang berfokus pada proses pengembangan dan pengujian sistem, tanpa melibatkan tahap distribusi produk secara luas. Pendekatan R&D dipilih karena penelitian ini bertujuan menghasilkan sistem berbasis Internet of Things (IoT) yang memanfaatkan *Application Programming Interface* (API) dari penyedia layanan eksternal untuk analisis kesuburan tanah dan notifikasi *real-time*,



sehingga memerlukan integrasi antara *hardware*, *software*, dan analisis data yang inovatif (Nusantara et al., 2023)(Siregar, 2023).

Model pengembangan yang digunakan adalah *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC) yang terdiri atas enam tahapan, yaitu *concept*, *design*, *material collecting*, *assembly*, *testing*, dan *distribution*. Namun, penelitian ini hanya mencakup hingga tahap *testing*, mengingat sistem belum disebarkan ke pengguna umum (Destiani et al., 2024)(Nashrulloh & Noerkemalasari, 2025). Pada tahap *concept*, dilakukan identifikasi masalah dan tujuan pengembangan sistem IoT berbasis ESP32 untuk pemantauan parameter tanah seperti NPK, pH, dan kelembaban. Tahap *design* melibatkan perancangan arsitektur sistem, termasuk diagram alur data dari sensor ke server lokal via *WiFi direct* dan integrasi API AI untuk rekomendasi pupuk. Tahap *material collecting* mencakup pengumpulan komponen *hardware* (sensor NPK dan ESP32) serta *software* (kode Arduino dan Flask). Tahap *assembly* berfokus pada integrasi prototipe, sementara Tahap *testing* dilakukan melalui pengujian fungsionalitas sistem secara bertahap, meliputi:

1. Uji Keberhasilan sistem dalam mendeteksi kadar kelembaban dan NPK pada tanah
2. Uji pengiriman data mentah dari ESP32 ke server
3. Uji respons API AI dalam menghasilkan rekomendasi treatment melalui telegram

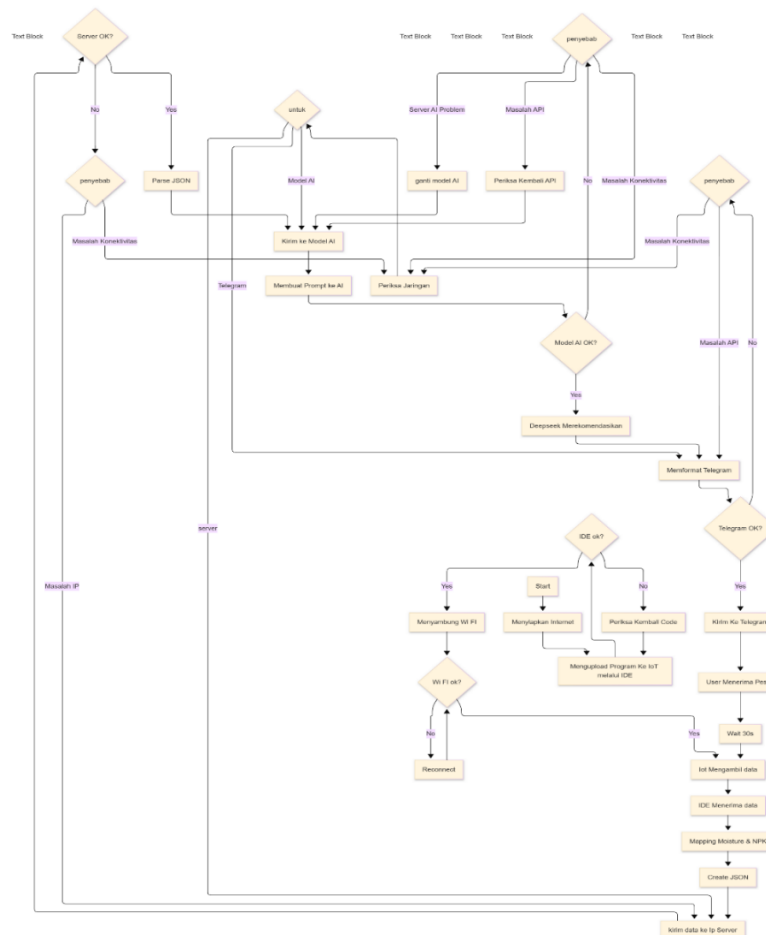
Pengujian dilakukan dalam lingkungan simulasi lapangan (botanical garden atau lahan percobaan) untuk memastikan sistem berfungsi sesuai desain sebelum masuk ke tahap pengembangan lanjutan. (Usman & Gustalika, 2017).

2.2 Tahap Pengembangan

Tahap *concept* dimulai dengan identifikasi masalah utama, yaitu inefisiensi pemupukan akibat kurangnya pemantauan *real-time* terhadap parameter kesuburan tanah seperti kelembaban dan kadar NPK. Berdasarkan tinjauan literatur, variasi spasial dan temporal nutrisi tanah sering kali tidak terdeteksi secara akurat oleh metode konvensional, yang mengakibatkan penggunaan pupuk berlebih hingga 30-50% atau kekurangan hara yang menurunkan hasil panen hingga 15-25% (Sobhy, 2025)(Malo, 2025). Hasil akhirnya Adalah system IoT berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan API AI eksternal guna menghasilkan analisis kesuburan dan rekomendasi pemupukan otomatis dalam bahasa alami. Batasan sistem ditetapkan pada akuisisi data sensor, transmisi ke server lokal, dan pengolahan AI, tanpa melibatkan distribusi ke pengguna umum (Wolfert et al., 2017)(Verdouw et al., 2019).

Untuk memberikan konteks terhadap hasil pembacaan sensor, penelitian ini menggunakan dua parameter utama, yaitu kelembapan tanah dan kadar NPK (Nitrogen, Fosfor, Kalium). Kedua parameter tersebut merupakan indikator utama dalam menilai tingkat kesuburan tanah yang berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan tanaman.

Pada tahap **design**, arsitektur sistem dirancang secara menyeluruh untuk memastikan alur data yang lancar dan hemat sumber daya. Sensor NPK dan kelembapan dihubungkan ke mikrokontroler ESP32 yang bertindak sebagai pusat pengolahan data lokal. Data kemudian dikirimkan melalui protokol HTTP POST ke server berbasis Node.js tanpa ketergantungan pada cloud atau MQTT, sehingga mengurangi biaya operasional dan latensi jaringan (Boonmeeruk et al., n.d.)(Hercog et al., 2023). Integrasi dengan API AI eksternal dirancang untuk mengubah data mentah menjadi rekomendasi kontekstual dalam format *Markdown* (maksimal 3 kalimat), sementara notifikasi dikirimkan melalui bot Telegram/WhatsApp dengan elemen multimedia seperti emoji dan daftar terformat. *Flowchart* sistem dibuat untuk memvisualisasikan alur dari akuisisi data hingga pengiriman notifikasi (Yu et al., 2021)(Hossain et al., 2024).



Gambar 1. Rancangan Alur kerja Sistem



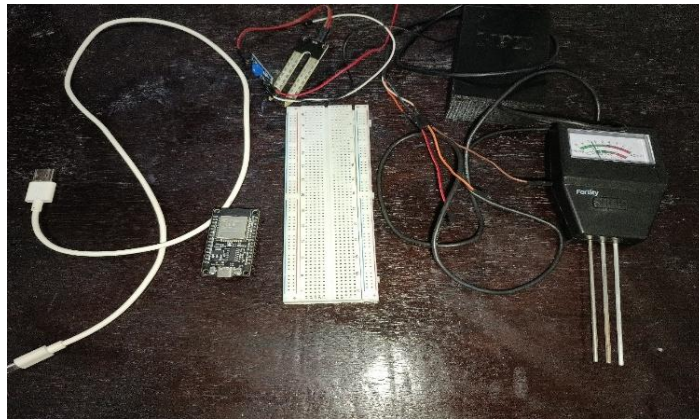
Tahap *material collecting* mencakup pengumpulan seluruh komponen yang diperlukan untuk membangun prototipe. Perangkat keras yang digunakan meliputi modul ESP32, sensor NPK elektrokimia, sensor kelembaban YL-69, *breadboard* MB-102, dan kabel jumper untuk koneksi fisik. Perangkat lunak mencakup Arduino IDE untuk pemrograman ESP32, Node.js untuk server lokal, serta akses API AI eksternal. Data kalibrasi awal diambil dari sampel tanah kontrol untuk memastikan akurasi pembacaan sensor sebelum integrasi (Hercog et al., 2023)(Liao et al., 2024).

Tabel 1. Alat dan Kuantitas

No.	Nama	Kuantitas
1.	ESP32	1
2.	Sensor N,P,K	1
3.	YL-69 Moisture Sensor	1
4.	Breadboard MB-102 Solderless 830 830P	1
5.	Kabel Jumper Female to Female	40 pcs
6.	Kabel Jumper Male to Male	40 pcs
7.	Usb Type C	1
8.	Laptop	1

2. 2. 1 Alat

Secara garis besar, alat yang digunakan terdiri dari dua kelompok utama, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras meliputi mikrokontroler ESP32 beserta sensor NPK dan sensor kelembapan tanah yang berfungsi untuk mengumpulkan data lapangan secara real-time. Sementara itu, perangkat lunak mencakup Arduino IDE untuk pemrograman perangkat, Node.js untuk pengembangan server, serta API kecerdasan buatan dan Bot Telegram yang digunakan untuk analisis data serta penyampaian rekomendasi kepada pengguna. Integrasi kedua jenis perangkat ini memungkinkan sistem bekerja secara terpadu, mulai dari pengukuran kondisi tanah hingga pengiriman hasil analisis secara otomatis.



Gambar 2. Alat

Tabel 2. Perangkat Keras

No.	Nama Alat	Deskripsi dan Fungsi
1	ESP32	Mikrokontroler berbasis Wi-Fi dan Bluetooth yang menjadi pusat kendali sistem IoT. Berfungsi membaca data sensor, memproses data secara lokal, serta mengirimkan data ke server dan aplikasi pihak ketiga.
2	Sensor NPK	Sensor untuk mengukur kadar unsur hara makro Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) dalam tanah. Data ini digunakan untuk menganalisis tingkat kesuburan tanah secara kuantitatif.
3	YL-69 Soil Moisture Sensor	Sensor untuk mendeteksi tingkat kelembapan tanah. Nilai kelembapan menjadi parameter penting untuk mengetahui kondisi air dalam tanah dan mendukung evaluasi kesuburan lahan.
4	Kabel Jumper	Digunakan untuk menghubungkan berbagai komponen elektronik pada breadboard, termasuk koneksi antara sensor dan ESP32.
5	Breadboard	Papan prototipe non-permanen untuk menyusun dan menguji rangkaian elektronik tanpa proses penyolderan.
6	Kabel USB Type-C	Media koneksi antara ESP32 dan komputer/laptop untuk proses pemrograman serta sebagai sumber daya selama pengujian.
7	Laptop	Digunakan sebagai perangkat utama untuk pemrograman ESP32, pengembangan server, serta pemantauan dan pengujian sistem. Berfungsi menjalankan Arduino IDE, VSCode, dan server Node.js.

Tabel 3. Perangkat Lunak

No.	Perangkat Lunak	Deskripsi dan Fungsi
1	Arduino IDE	Digunakan untuk menulis, mengunggah, dan memantau program (firmware) pada ESP32. Mendukung berbagai pustaka dan sangat kompatibel untuk pengembangan IoT berbasis ESP32.
2	Node.js Server	Server berbasis JavaScript yang berfungsi menerima data dari ESP32, memprosesnya, dan meneruskan ke aplikasi lain seperti Telegram. Mendukung komunikasi data real-time.
3	Visual Studio Code (VSCode)	Editor kode utama dalam pengembangan server Node.js. Menyediakan fitur debugging, integrasi terminal, serta dukungan ekstensi untuk mempermudah pengembangan server-side.
4	DeepSeek (API)	Layanan API kecerdasan buatan yang memproses data sensor. Memberikan analisis dan rekomendasi, misalnya rekomendasi pemupukan berdasarkan kondisi tanah yang terdeteksi.
5	Telegram	Berfungsi sebagai antarmuka pengguna untuk menerima data hasil observasi dan rekomendasi secara otomatis. Bot Telegram mengirimkan notifikasi real-time mengenai kondisi tanah.

2. 2. 2 Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah data mentah yang diperoleh dari hasil observasi sensor, yakni sensor NPK dan sensor kelembaban tanah (YL-69). Data ini mencakup kadar Nitrogen (N), Phosphorus (P), Kalium (K) dalam bentuk index terakumulasi, serta tingkat kelembaban tanah yang dikumpulkan oleh ESP32. Selanjutnya, data ini diolah menggunakan pendekatan berbasis kecerdasan buatan melalui layanan DeepSeek untuk menghasilkan informasi yang lebih bermakna, seperti status kesuburan tanah dan rekomendasi pemupukan. Data tersebut juga dikirimkan ke pengguna akhir melalui platform Telegram secara otomatis.

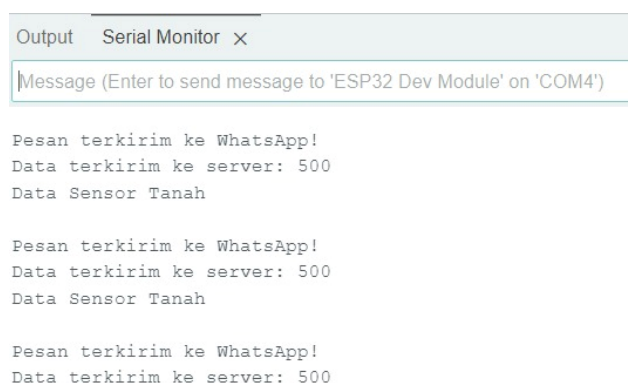
Proses *assembly* dilakukan dengan menghubungkan sensor ke pin GPIO ESP32 sesuai desain, memastikan konektivitas WiFi Direct stabil, dan mengunggah kode akuisisi data. Server Node.js dikonfigurasi untuk menerima *payload* JSON dari ESP32, memprosesnya, dan mengirimkan permintaan ke API AI. Bot Telegram/WhatsApp diintegrasikan sebagai endpoint akhir untuk pengiriman notifikasi otomatis. Seluruh alur diuji secara bertahap untuk memastikan data mengalir dari sensor ke pengguna tanpa gangguan (Boonmeeruk et al., n.d.)(Verdouw et al., 2019).

Tahap akhir, *testing*, difokuskan pada evaluasi kinerja sistem secara komprehensif. Pengujian meliputi: (1) uji akurasi sensor NPK dan kelembaban terhadap sampel tanah laboratorium dengan galat target <8%, (2) pengukuran latensi transmisi data ESP32-server (<1 detik), (3) evaluasi kecepatan dan ketepatan respons API AI dalam menghasilkan rekomendasi, serta (4) pengujian pengiriman notifikasi Telegram/WhatsApp untuk memastikan format dan konten sesuai harapan. Pengujian dilakukan di lingkungan simulasi lapangan (kebun botani atau lahan percobaan) untuk mereplikasi kondisi nyata. Hasil pengujian digunakan untuk mengidentifikasi *bottleneck*, memperbaiki stabilitas sistem, dan menyusun rekomendasi pemupukan berbasis data (Yu et al., 2021)(Hossain et al., 2024).

Dengan demikian, kelima tahapan MDLC ini memastikan pengembangan sistem IoT pemantau kesuburan tanah yang andal, hemat biaya, dan berorientasi pada kebutuhan petani hortikultura skala kecil (Wolfert et al., 2017).

3. Hasil dan Pembahasan

Pada tahap uji pendeteksian kadar kelembaban dan NPK, Sistem berhasil mendeteksi kadar kelembaban dan NPK dari tanah secara real-time. Hal ini menunjukkan bahwa proses pembacaan sensor dan akuisisi data melalui ESP32 berjalan dengan benar tanpa error pembacaan.



Gambar 3. Notifikasi di Arduino IDE

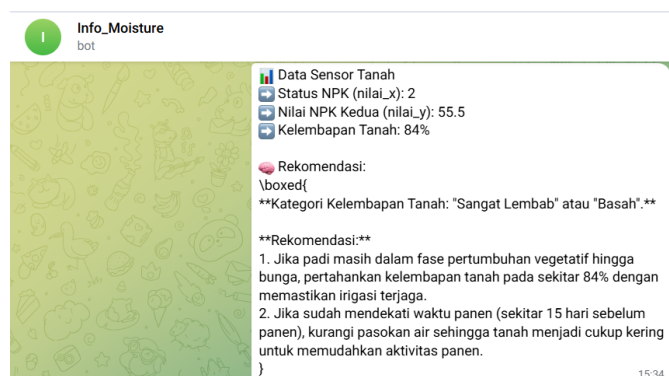
Pada proses transmisi data mentah dari sensor yang terhubung ke ESP32 menuju server local, menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan data kadar NPK dan kelembapan tanah secara stabil tanpa mengalami kehilangan paket data. Setiap pembacaan sensor berhasil diterima oleh server dalam format mentah (raw data) sesuai interval pengiriman yang ditentukan. Hal ini membuktikan bahwa koneksi antara ESP32 dan server berjalan dengan baik serta mendukung kebutuhan pemantauan real-time.



```
PS D:\IoT2> node server.js
Server berjalan di http://...
Data berhasil dikirim ke API AI dan diteruskan ke Telegram.
Data berhasil dikirim ke API AI dan diteruskan ke Telegram.
Data berhasil dikirim ke API AI dan diteruskan ke Telegram.
Data berhasil dikirim ke API AI dan diteruskan ke Telegram.
Data berhasil dikirim ke API AI dan diteruskan ke Telegram.
```

Gambar 4. Data berhasil terkirim dari server ke API AI dan Telegram

Tes ketiga dilakukan untuk memastikan bahwa data yang diteruskan dari server dapat diproses oleh API AI eksternal. Hasilnya menunjukkan bahwa API AI berhasil menerima input berupa data mentah dari sensor yang telah diparsing oleh server, kemudian memprosesnya untuk menghasilkan rekomendasi penanganan yang sesuai dengan kondisi tanah dan kriteria yang ditentukan ke platform seperti Whatsapp atau Telegram. Respons yang dikirimkan kembali oleh API dalam bentuk teks rekomendasi dapat diteruskan otomatis ke pengguna melalui Bot Telegram. Sistem terbukti mampu menjalankan seluruh alur analisis, mulai dari penerimaan data, pemrosesan berbasis AI, hingga pengiriman rekomendasi secara real-time.



Gambar 5. Contoh Output



Adapula kriteria yang digunakan pada kadar kelembapan berada di kisaran 50% dan nilai unsur hara (N, P, K) menunjukkan angka yang cukup tinggi, sistem akan memberikan keluaran bahwa tanah berada dalam kondisi "Subur". Sebaliknya, jika salah satu unsur berada di bawah ambang batas tertentu, maka keluaran yang diberikan adalah "Kurang Subur", disertai rekomendasi untuk perbaikan.

Tabel 4. Kriteria Kesuburan Tanah

No.	Parameter	Kriteria Rendah	Kriteria Sedang	Kriteria Tinggi
1.	Kelembapan	< 30%	30-80%	>80%
2.	NPK	0 (0-100%)	1 (0-100%)	2 (0-100%)

Kelembapan tanah dikategorikan berdasarkan persentase kandungan air dalam media tanam. Tanah dengan kelembapan di bawah 30% dianggap kering dan berpotensi menghambat penyerapan unsur hara oleh akar tanaman. Kondisi sedang (30-80%) menunjukkan tingkat kelembapan ideal yang mendukung pertumbuhan vegetatif optimal, sedangkan kelembapan di atas 80% mengindikasikan kondisi terlalu basah yang berisiko menyebabkan akar kekurangan oksigen.

Sementara itu, parameter NPK diukur berdasarkan nilai keluaran dari sensor hara tanah yang telah dikalibrasi. Nilai 0 menunjukkan kadar hara rendah, 1 menunjukkan ketersediaan unsur hara sedang, dan 2 merepresentasikan kondisi tanah yang kaya nutrisi. Masing-masing nilai ini digunakan sebagai dasar bagi sistem untuk menentukan tingkat kesuburan tanah secara keseluruhan dan untuk mengirimkan rekomendasi pemupukan melalui API AI.

Dengan adanya klasifikasi parameter ini, sistem mampu menafsirkan data sensor secara terstruktur dan menghasilkan rekomendasi yang lebih kontekstual bagi pengguna. Misalnya, ketika kelembapan rendah dan nilai NPK juga rendah, sistem akan memberikan rekomendasi untuk melakukan penyiraman serta menambahkan pupuk dasar. Sebaliknya, jika kadar NPK tinggi namun kelembapan terlalu rendah, sistem hanya menyarankan penyiraman tanpa penambahan pupuk, sehingga penggunaan sumber daya menjadi lebih efisien.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem IoT berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan API AI berhasil berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem mampu: Mendeteksi kadar kelembapan dan NPK tanah secara real-time dengan tingkat konsistensi pembacaan yang baik, Mengirimkan



data sensor secara otomatis ke server lokal, yang kemudian diproses oleh model AI untuk menghasilkan analisis kesuburan, serta Mengirimkan rekomendasi pemupukan melalui Telegram Bot dalam bentuk teks sederhana, sehingga mudah dipahami oleh pengguna, khususnya petani di lapangan.

Integrasi antara sensor IoT dan kecerdasan buatan terbukti meningkatkan nilai guna sistem dibandingkan penggunaan IoT konvensional yang hanya berfungsi sebagai alat pemantauan. Sistem tidak hanya menampilkan data mentah, tetapi juga mampu memberikan rekomendasi berbasis analisis, menjadikannya alat bantu keputusan yang praktis dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu, N. S., Bukhari, W. M., Ong, C. H., Kassim, A. M., Izzuddin, T. A., Sukhaimie, M. N., Norasikin, M. A., & Rasid, A. F. A. (2022). Internet of Things Applications in Precision Agriculture: A Review. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 3(3), 338-347. <https://doi.org/10.18196/jrc.v3i3.14159>
- Ayorinde, A., Mensah, D. O., Walsh, J., Ghosh, I., Ibrahim, S. A., Hogg, J., Peek, N., & Griffiths, F. (2024). Health Care Professionals' Experience of Using AI: Systematic Review With Narrative Synthesis. *Journal of Medical Internet Research*, 26, 1-19. <https://doi.org/10.2196/55766>
- Boonmeeruk, P., Palrat, P., & Wongsopanakul, K. (n.d.). *Cost-Effective IIoT Gateway Development Using ESP32 for Industrial Applications*. 28(10), 93-108. <https://doi.org/10.4186/ej.2024.28.10.93>
- Destiani, D., Fatimah, S., Mubarak, M. S., & Apriani, A. (2024). *Penggunaan Multimedia Development Life Cycle dalam Rancang Bangun Media Pembelajaran Toleransi Beragama*. 189-197. <https://doi.org/10.33364/algorithm/v.21-1.1524>
- Hajipour, V., Hekmat, S., & Amini, M. (2023). A value-oriented Artificial Intelligence-as-a-Service business plan using integrated tools and services. *Decision Analytics Journal*, 8(July), 100302. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100302>
- Hercog, D., Lerher, T., & Trunti[˘], M. (2023). *Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices*. 1.
- Hossain, M. I., Khaleque, M. A., Ali, M. R., Bacchu, M. S., Hossain, M. S., Shahed, S. M. F., Aly, M., Aly, S., & Khan, Z. H. (2024). *Development of electrochemical sensors for quick detection of environmental (soil and water) NPK ions*. 9137-9158.



<https://doi.org/10.1039/d4ra00034j>

- Jawad, H. M., Nordin, R., Gharghan, S. K., Jawad, A. M., & Ismail, M. (2017). Energy-efficient wireless sensor networks for precision agriculture: A review. *Sensors (Switzerland)*, 17(8). <https://doi.org/10.3390/s17081781>
- Liao, S., Jiang, J., & Yang, C. (2024). Internet of Things Integration of LoRa-enabled IoT infrastructure for advanced campus safety systems in Taiwan. *Internet of Things*, 28(August), 101347. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101347>
- Lins, S., Pandl, K. D., Teigeler, H., Thiebes, S., Bayer, C., & Sunyaev, A. (2021). Artificial Intelligence as a Service: Classification and Research Directions. *Business and Information Systems Engineering*, 63(4), 441-456. <https://doi.org/10.1007/s12599-021-00708-w>
- Malo, S. K. (2025). *Assessment of the soil fertility index (SFI) for sustainable nutrient management in rice- based cropping systems of Barind tract of West.*
- Musa, P., Sugeru, H., & Wibowo, E. P. (2024). Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review of NPK Sensor Implementations. *Sensors*, 24(1), 1-14. <https://doi.org/10.3390/s24010051>
- Nashrulloh, M. R., & Noerkemalasari, D. (2025). *Penerapan Multimedia Interaktif Wayang Golek Menggunakan Metode Multimedia Development Life Cycle (MDLC) Pada Tingkat Sekolah Dasar (SD). Mdlc*, 390-402. <https://doi.org/10.33364/algorithm/v.22-1.1695>
- Nusantara, D. A., Pendidikan, J., Vol, B., & Arrahmaniyah, O. S. (2023). *Research And Development (R & D) Penelitian Yang Inovatif Dalam Pendidikan.* 1(1).
- Postolache, S., Sebastião, P., Viegas, V., Postolache, O., & Cercas, F. (2023). Sistemas basados en IoT para la evaluación de nutrientes del suelo en horticultura. *Sensores*, 23(1). https://www.researchgate.net/publication/366831394_IoT-Based_Systems_for_Soil_Nutrients_Assessment_in_Horticulture
- Siregar, T. (2023). *Tahapan Model Penelitian Dan Pengembangan Research And Development (R & D).* 1(4), 142-158.
- Sobhy, D. M. (2025). *Soil Nutrient Monitoring Technologies for Sustainable Agriculture : A Systematic Review.* 1-29.
- Syed, N., Anwar, A., Baig, Z., & Zeadally, S. (2025). Artificial Intelligence as a Service (AlaaS) for Cloud, Fog and the Edge: State-of-the-Art Practices. *ACM Computing Surveys*, 57(8). <https://doi.org/10.1145/3712016>



- Usman, M. L. L., & Gustalika, M. A. (2017). *Pengujian Validitas dan Reliabilitas System Usability Scale (SUS) Untuk Perangkat Smartphone*. 19-24.
- Verdouw, C., Sundmaeker, H., Tekinerdogan, B., Conzon, D., & Montanaro, T. (2019). Architecture framework of IoT-based food and farm systems : A multiple case study. *Computers and Electronics in Agriculture*, 165(August), 104939.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104939>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. (2017). Big Data in Smart Farming - A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.023>
- Yu, L., Gao, W., Shamshiri, R. R., Tao, S., Ren, Y., Zhang, Y., & Su, G. (2021). *Review of research progress on soil moisture sensor technology*. 14(4), 32-42.
<https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211404.6404>