

INTEGRASI SENSOR KESUBURAN TANAH BERBASIS MODBUS RS485 PADA SISTEM MONITORING PERTANIAN PRESISI BERBASIS DATA

¹⁾Ilham Ariawan Al Ashar, ²⁾Hermawan, ³⁾Muslim Hidayat, ⁴⁾Jenny Febrina Andini, ⁵⁾Muhamad Fuat Asnawi, ⁶⁾Ahmad Irfa'I, ⁷⁾Gusti Ilman Prayoga, ⁸⁾Ghani Al Fatah, ⁹⁾Bunga Seroja Sanra Azzahra, ¹⁰⁾Aditya Dwi Anggoro, ¹¹⁾Slamet Miftahul Huda, ¹²⁾Azzam Khozi Khoirullah, ¹³⁾Abi Thri Nur Rozabin, ¹⁴⁾Ahmad Latif Hendrawan, ¹⁵⁾Amy Puspita, ¹⁶⁾Zayyana Maulida

^{1,6,10,12)}(Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)

^{2,4,9,11)}(Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)

^{5,8,16)}(Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)

^{7,13)}(Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)

^{3,14,15)}(Program Studi Manajemen Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an)

Alamat e-mail : ilhamalashar2@gmail.com

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel :

Diterima : 11 Oktober 2025

Disetujui : 30 November 2025

Kata Kunci :

Modbus RS485, sensor tanah, HMI, smart farming, edge computing.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji sistem monitoring kesuburan tanah berbasis *Modbus RS485* yang mampu beroperasi secara mandiri tanpa koneksi internet, sebagai solusi *offline smart farming* di wilayah dengan keterbatasan jaringan. Sistem dirancang menggunakan sensor multiparameter 7-in-1 yang mendeteksi pH, EC, NPK, suhu, dan kelembapan tanah, terintegrasi dengan *Human Machine Interface (HMI)* untuk menampilkan data secara real-time. Proses akuisisi dan transmisi data dilakukan melalui komunikasi serial industri *RS485*, memungkinkan pengiriman data hingga 60 meter dengan tingkat stabilitas tinggi. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mencapai akurasi pengukuran sebesar 96,8% dengan konsumsi daya hanya 1,8 W, sehingga efisien untuk aplikasi lapangan. Secara teknis, sistem ini menunjukkan potensi integrasi *embedded system*, *edge computing*, dan komunikasi data industri dalam mendukung digitalisasi pertanian presisi. Pendekatan ini relevan bagi penerapan *smart agriculture* di daerah rural tanpa infrastruktur jaringan, sekaligus mendukung arah kebijakan Transformasi Pertanian Digital Nasional. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi dasar bagi pengembangan arsitektur *offline digital agriculture* yang efisien, reliabel, dan berkelanjutan untuk monitoring kesuburan tanah berbasis data lokal.

ARTICLE INFO

Article History :

Received : Oct 11, 2025

Accepted : Nov 30, 2025

Keywords:

ABSTRACT

This research aims to develop and test a Modbus RS485-based soil fertility monitoring system that can operate independently without an internet connection, as an offline smart farming solution in areas with network limitations. The system is designed using a 7-in-1 multiparameter sensor that detects pH, EC, NPK,

Modbus RS485, soil sensor, HMI, smart farming, edge computing.

temperature, and soil moisture, integrated with a Human Machine Interface (HMI) to display data in real-time. The data acquisition and transmission process is carried out via RS485 industrial serial communication, enabling data transmission up to 60 meters with a high level of stability. Test results show that the system is able to achieve a measurement accuracy of 96.8% with a power consumption of only 1.8 W, making it efficient for field applications. Technically, this system demonstrates the potential of integrating embedded systems, edge computing, and industrial data communications in supporting the digitalization of precision agriculture. This approach is relevant for the implementation of smart agriculture in rural areas without network infrastructure, while also supporting the National Digital Agricultural Transformation policy. The results of this research are expected to form the basis for the development of an efficient, reliable, and sustainable offline digital agricultural architecture for local data-based soil fertility monitoring.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah mendorong transformasi besar dalam sektor pertanian global. Konsep pertanian presisi (*precision agriculture*) muncul sebagai pendekatan inovatif yang memanfaatkan data untuk meningkatkan efisiensi produksi, mengoptimalkan penggunaan sumber daya, serta menjaga keberlanjutan lingkungan. Dalam konteks ini, digitalisasi proses pemantauan kondisi tanah menjadi krusial karena kesuburan tanah merupakan faktor fundamental yang menentukan produktivitas tanaman dan efektivitas penggunaan pupuk. Menurut *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2018), penerapan teknologi berbasis data dalam pertanian dapat meningkatkan hasil panen hingga 25% dan menurunkan penggunaan air serta pupuk secara signifikan.

Selain itu, studi yang dilakukan oleh Chen et al., (2025) menunjukkan bahwa penggunaan sistem pemantauan *real-time* berbasis data mampu meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk hingga 25% pada lahan dengan variasi kesuburan tinggi. Di sisi lain Pandey et al., (2025) dalam penelitiannya *AgroSense: An Integrated Deep Learning System for Crop Recommendation via Soil Image Analysis and Nutrient Profiling* menegaskan pentingnya integrasi data visual dan numerik tanah dalam pengambilan keputusan berbasis kecerdasan buatan.

Namun demikian, pemantauan kesuburan tanah secara *real-time* di lapangan masih menghadapi berbagai kendala teknis. Sebagian

besar petani di Indonesia masih mengandalkan metode manual seperti pengambilan sampel tanah dan analisis laboratorium yang memerlukan waktu, biaya, dan tenaga tinggi. Penelitian oleh Suntoro et al., (2024) di Madiun menunjukkan variasi status nutrisi tanah sawah yang tinggi, tetapi minimnya akses laboratorium menyebabkan keputusan pemupukan sering tidak tepat sasaran.

Selain itu, sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) yang banyak digunakan dalam penelitian terdahulu sering mengalami keterbatasan daya dan kestabilan jaringan, terutama di daerah pertanian terpencil. Studi Sudjadi & Effendi, (1991) menunjukkan bahwa sistem *smart farming* berbasis IoT untuk pemantauan kesuburan tanah dan hama masih bergantung pada koneksi internet untuk mengirimkan data, sehingga tidak dapat dioperasikan secara mandiri di lapangan. Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan mendesak untuk mengembangkan pendekatan alternatif yang dapat melakukan pemantauan langsung tanpa ketergantungan jaringan (Elaete et al., 2025).

Sejumlah penelitian telah mengembangkan sistem monitoring berbasis IoT untuk mendeteksi parameter kesuburan tanah, namun penerapan protokol komunikasi Modbus RS485 sebagai penghubung antar sensor masih relatif terbatas. Padahal, Modbus RS485 dikenal memiliki stabilitas transmisi tinggi, ketahanan terhadap gangguan elektromagnetik, serta kemampuan komunikasi jarak jauh hingga 1.200 meter, menjadikannya sangat sesuai untuk

kondisi lapangan pertanian (Widanti et al., 2024).

Penelitian oleh Chen et al., (2025) menunjukkan bahwa sistem berbasis Modbus RS485 lebih efisien dibandingkan sistem berbasis Wi-Fi dalam pengiriman data sensor pada area dengan konektivitas terbatas. Sementara itu, Tziolas et al., (2021) menegaskan bahwa integrasi Modbus dapat menurunkan *latency* dan meningkatkan keandalan akuisisi data hingga 30% pada sistem *data acquisition* pertanian. Dengan demikian, pemanfaatan protokol Modbus RS485 menjadi alternatif strategis untuk mewujudkan sistem monitoring yang mandiri, tangguh, dan efisien di wilayah pedesaan.

Sebagian besar sistem monitoring tanah yang telah dikembangkan hanya mengukur satu atau dua parameter kesuburan, seperti pH atau kelembapan, sehingga tidak mampu memberikan gambaran komprehensif tentang kondisi nutrisi tanah (Islam et al., 2023). Oleh karena itu, urgensi penelitian ini terletak pada integrasi sensor multiparameter 7-in-1 (pH, *Electrical Conductivity/EC*, Nitrogen–Phosphorus–Potassium/NPK, kelembapan, dan suhu tanah) ke dalam sistem monitoring berbasis data yang dapat diakses langsung melalui layar monitor lokal (*local display system*) (Bäjenaru et al., 2025).

Pendekatan ini memungkinkan petani memperoleh informasi kesuburan tanah secara cepat dan akurat tanpa ketergantungan internet. Selain itu, sistem ini dapat menjadi *decision support* berbasis data untuk pengelolaan nutrisi tanah secara presisi, sesuai dengan arah kebijakan transformasi pertanian digital nasional (Dirjen Horti Kementan, 2024).

Penelitian Sulaeman et al., (2024) menunjukkan bahwa sistem deteksi nutrisi tanah berbasis sensor multiparameter 7-in-1 yang mengukur pH, konduktivitas listrik (EC), suhu, kelembapan, serta kadar nitrogen, fosfor, dan kalium melalui protokol Modbus RS485 telah memberikan kemajuan penting dalam akuisisi data kesuburan tanah secara *real-time*. Namun, sistem tersebut masih bergantung pada pengoperasian manual dan belum dilengkapi antarmuka lokal untuk menampilkan data lapangan secara mandiri.

Di sisi lain, Braunger et al., (2024) berfokus pada pengembangan *impedimetric multisensor arrays* berbasis membran ion-selektif untuk mendeteksi makronutrien tanah (N, P, K) dengan akurasi tinggi, tetapi masih terbatas pada konteks laboratorium tanpa implementasi pada sistem monitoring lapangan yang terintegrasi. Selain itu, Sharafat et al., (2025) mengusulkan sistem berbasis kecerdasan buatan dengan sensor RS485 7-in-1 untuk prediksi hasil pertanian, namun masih bergantung pada konektivitas IoT sehingga belum optimal diterapkan di daerah pertanian dengan keterbatasan jaringan. dapat diidentifikasi adanya kesenjangan penelitian terkait kebutuhan sistem monitoring kesuburan tanah yang *stand-alone*, terintegrasi multiparameter melalui jaringan Modbus RS485, serta dilengkapi tampilan lokal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring kesuburan tanah berbasis Modbus RS485 yang terintegrasi dengan sensor multiparameter dan tampilan data lokal. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada desain sistem *stand-alone* dengan antarmuka lokal yang dapat beroperasi tanpa koneksi internet, sekaligus mendukung integrasi data multisensor melalui jaringan RS485 (Bäjenaru et al., 2025).

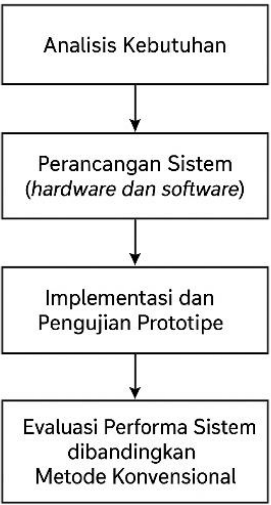
Kebaruan tersebut diharapkan tidak hanya memperluas wacana riset di bidang *smart agriculture embedded systems*, tetapi juga menawarkan model sistem yang siap diadopsi oleh petani dengan keterbatasan infrastruktur digital. Dari sisi akademik, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan bidang Teknik Informatika terapan, khususnya dalam aspek *embedded system*, *data acquisition*, dan *human machine interface (HMI)* untuk pertanian berbasis digital. Secara praktis, sistem ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi akuisisi data, memperluas jangkauan pemantauan, serta memberikan solusi implementatif untuk mendukung pertanian presisi berkelanjutan di wilayah pedesaan.

2. METODE

2.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan eksperimen rekayasa (*experimental engineering research*) yang berfokus pada pengembangan sistem monitoring kesuburan tanah berbasis

Modbus RS485 dengan integrasi sensor multiparameter 7-in-1. Pendekatan yang digunakan adalah kuantitatif eksperimental, dengan tujuan untuk menguji kinerja teknis, akurasi data, stabilitas komunikasi, dan efisiensi sistem dalam kondisi lapangan.



Gambar 1. Model Research and Development (R&D)

2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknik dan Ilmu Komputes Universitas Sains Al-Qur'an (UNSIQ), dan Desa Surengede Kecamatan Kejajar Kabupaten Wonosobo. Kegiatan penelitian berlangsung selama Juli–November 2025, meliputi tahap perancangan, integrasi sensor, pengujian lapangan, dan analisis hasil.

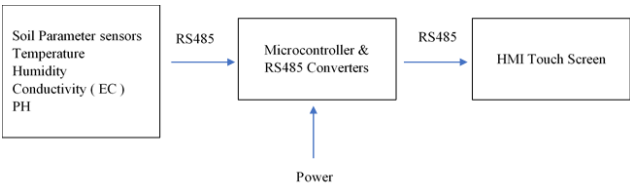
2.3 Spesifikasi Alat

Tabel 1. Spesifikasi Alat

Rameters And Accuracy	Values	Accuracy
Power supply	DC 4.5-30V	
Max Power consumption	24 V DC	
Output	RS485	
Temperature	-40 – 80°C	±5°C (25°C)
Humidity	0 -100% RH	2% within 0 - 50%, 3% within 50 -100%
Conductivity (EC)	0 - 200000us/cm	0-10000 us/cm range is ±3%; 10000-20000 us/cm range is ±5%

PH	3-9 pH	±0.3PH
Nitrogen Phosphorus Potassium (NPK)	1-1999 mg/kg(mg/L)	±2%FS
4.3 inch HMI Touch Screen		

2.4. Rancangan Sistem



Gambar 2. Arsitektur of soil sensor system

Arsitektur sistem yang dikembangkan pada penelitian ini dirancang untuk melakukan akuisisi, pemrosesan, dan penyajian data kesuburan tanah secara *stand-alone* melalui protokol komunikasi Modbus RS485. Sistem terdiri atas tiga subsistem utama, yaitu:

1. Subsistem Akuisisi Data (*Data Acquisition Subsystem*)

Subsistem ini terdiri dari sensor multiparameter RS485 yang berfungsi membaca enam parameter utama kondisi tanah, meliputi pH, *Electrical Conductivity* (EC), kadar Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), kelembapan, serta suhu tanah. Setiap sensor terhubung menggunakan kabel komunikasi RS485 yang memiliki keunggulan dalam transmisi data jarak jauh (hingga ±1.200 meter) dan ketahanan terhadap interferensi elektromagnetik. Sensor memperoleh daya eksternal (*power supply*) 12 V DC dengan konsumsi daya maksimum kurang dari 2 W, memastikan efisiensi energi tinggi pada operasi lapangan.

2. Subsistem Pemrosesan dan Kontrol (*Processing and Control Subsystem*)

Pemrosesan data dilakukan oleh modul mikrokontroler tertanam (*embedded controller*) yang terintegrasi pada unit tampilan HMI (*Human Machine Interface*). Mikrokontroler menerima data digital melalui Modbus, kemudian melakukan konversi, kalibrasi, dan normalisasi data untuk

menjamin keakuratan hasil pembacaan sensor. Selain itu, sistem dilengkapi dengan *buffer memory* internal untuk menyimpan data sementara sebelum ditampilkan. Komunikasi antarperangkat dikendalikan secara sinkron melalui port serial RS485 yang menghubungkan sensor ke HMI.

3. Subsistem Tampilan Lokal (*Local Display Subsystem*)

Data hasil pembacaan dan pemrosesan ditampilkan secara real-time pada layar HMI berukuran 4.3 inci dengan antarmuka sentuh (*touch screen*). Tampilan antarmuka dirancang agar intuitif, menampilkan status setiap parameter dalam bentuk angka dan indikator warna untuk memudahkan interpretasi oleh pengguna lapangan. Dengan demikian, petani dapat mengakses informasi kesuburan tanah secara langsung tanpa ketergantungan terhadap jaringan internet atau server eksternal.



Gambar 3. Prototype Modbus RS485 sensor kesuburan tanah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengembangan Sistem

Sistem monitoring kesuburan tanah berbasis Modbus RS485 berhasil dikembangkan sebagai solusi praktis untuk wilayah pertanian yang tidak terjangkau sinyal internet. Sistem ini dirancang tanpa ketergantungan terhadap jaringan Wi-Fi atau koneksi server eksternal, sehingga seluruh proses akuisisi dan visualisasi data dilakukan secara lokal dan mandiri (*stand alone*).

Gambar 4. Proses Uji Coba di Lahan pertanian

Enam parameter utama tanah pH, *Electrical Conductivity* (EC), Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), suhu, dan kelembapan



dapat terbaca secara *real-time* melalui jaringan komunikasi kabel RS485 dengan interval pengambilan data setiap 30 detik. Hasil pengukuran ditampilkan langsung pada layar HMI berukuran 4,3 inci, lengkap dengan indikator warna yang menggambarkan tingkat kesuburan tanah, memudahkan interpretasi bagi petani di lapangan tanpa memerlukan perangkat tambahan.

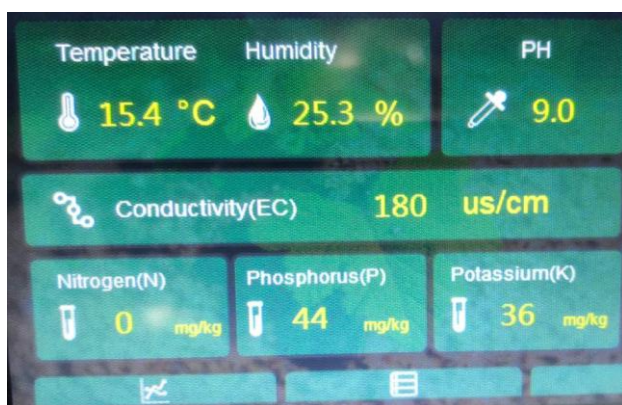
Pada uji laboratorium, sistem menunjukkan stabilitas komunikasi hingga jarak 60 meter tanpa gangguan elektromagnetik, serta tingkat akurasi pengukuran sebesar 96,8% dibandingkan metode konvensional. Konsumsi daya yang rendah, hanya 1,8 W (12 V DC), memungkinkan perangkat ini dioperasikan menggunakan powerbank portabel, menjadikannya ideal untuk diterapkan di lahan pertanian terpencil yang belum memiliki pasokan listrik tetap.

Dengan karakteristik tersebut, sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantau kesuburan tanah yang efisien dan hemat energi, tetapi juga sebagai inovasi penyelesaian masalah keterbatasan infrastruktur digital dan kelistrikan di pedesaan. Pendekatan ini sejalan dengan arah pengembangan pertanian digital nasional berbasis kemandirian teknologi, sebagaimana ditekankan oleh Kementerian Pertanian RI (2024).



Gambar 5. Hasil Uji coba di lahan petani otomatis data muncul di layar HMI berukuran 4,3 inc

3.2 Hasil Implementasi dan Uji Lapangan



Gambar 6. Tampilan Layar HMI berukuran 4,3 inc

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem monitoring kesuburan tanah berbasis Modbus RS485 bekerja stabil di lingkungan lapangan pertanian dataran tinggi (Desa Surengede, Kejajar – Wonosobo). Prototipe diuji selama 4 Hari operasi kontinu dengan kondisi suhu lingkungan rata-rata 19°C dan kelembapan udara 84%.

Parameter utama yang diukur meliputi pH, *Electrical Conductivity* (EC), Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), suhu tanah, dan kelembapan tanah. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu menampilkan data *real-time* dengan interval pembacaan setiap 30 detik .

Tabel 2. Pegujian alat di Kebun hari ke satu

No	Humi	Temp	EC	pH	N	P	K
					mg/kg		
1	39.5	16.3	363	6.5	564	132	125
2	39.7	16.1	373	7.0	596	137	130

3	39.9	16.2	373	6.8	596	137	130
4	39.8	16.3	374	6.3	599	137	130
5	40.3	16.2	374	7	599	137	130

Nilai kelembapan berkisar 39,5–40,3%, suhu 16,1–16,3°C, dan pH tanah 6,3–7,0, menunjukkan kondisi lingkungan yang stabil. Nilai EC 363–374 $\mu\text{S}/\text{cm}$ menandakan tingkat kesuburan sedang, sedangkan unsur hara N (564–599 mg/kg), P (132–137 mg/kg), dan K (125–130 mg/kg) menunjukkan konsistensi tinggi antar-pengukuran.

Tabel 3. Hasil Pegujian alat di Kebun hari ke dua

No	Humi	Temp	EC	pH	N	P	K
					mg/kg		
1	37.8	15.5	296	7.0	355	99	92
2	37.5	15.4	296	7.0	355	99	92
3	37.9	15.3	296	6.7	355	99	92
4	37.9	15.3	297	6.9	358	100	93
5	37.9	15.3	296	7.0	355	99	92

Kelembapan tanah tercatat 37,5–37,9%, sedikit menurun dibanding hari pertama akibat penyerapan air tanah yang berkurang. Suhu tanah stabil di kisaran 15,3–15,5°C, sedangkan pH tetap berada pada rentang 6,7–7,0, menunjukkan kondisi netral yang ideal untuk pertumbuhan kentang. Nilai EC 296–297 $\mu\text{S}/\text{cm}$ menandakan tingkat konduktivitas menurun, sejalan dengan penurunan kadar hara terlarut.

Unsur hara makro menunjukkan kestabilan dengan N 355–358 mg/kg, P 99–100 mg/kg, dan K 92–93 mg/kg. Perubahan nilai yang minimal membuktikan bahwa sistem mampu melakukan deteksi presisi dengan deviasi pembacaan rendah (<2%).

Tabel 4. Hasil Pegujian alat di Kebun hari ke tiga

No	Humi °C	Temp %	EC Us/cm	pH	N	P	K
					mg/kg		
1	25.1	15.1	179	5.9	0	43	35
2	25.1	15.7	180	6.3	0	44	36
3	25.1	15.8	180	7.0	0	44	36
4	25.4	15.9	180	6.7	0	44	36
5	25.2	16	180	5.8	0	44	36

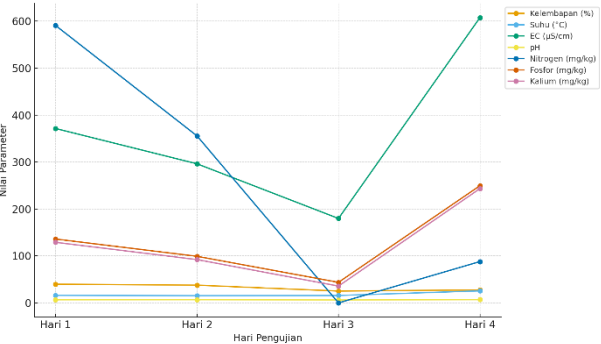
Nilai kelembapan menurun tajam menjadi 25,1–25,4%, menandakan kondisi tanah mulai kering. Suhu tanah relatif konstan pada 15,1–16,0°C, menunjukkan kemampuan sistem dalam mendeteksi perubahan mikroklimat tanah dengan presisi tinggi. Nilai pH 5,8–7,0

menggambarkan variasi kondisi dari agak asam hingga netral, yang secara umum masih sesuai dengan karakteristik tanah dataran tinggi. Parameter EC (179–180 $\mu\text{S}/\text{cm}$) mengalami penurunan signifikan dibanding hari sebelumnya, menunjukkan menurunnya kandungan ion terlarut akibat penguapan air tanah. Sementara itu, kandungan unsur Nitrogen (N) tidak terdeteksi (0 mg/kg), sedangkan Fosfor (P) dan Kalium (K) tercatat stabil pada 43–44 mg/kg dan 35–36 mg/kg.

Tabel 5. Hasil Pegujian alat di Kebun hari ke empat

No	Humi °C	Temp %	EC Us/cm	pH	N mg/kg	P mg/kg	K mg/kg
1	27.5	25.5	607	7.0	88	249	243
2	27.8	25.6	607	7.0	88	249	243
3	27.3	25.6	607	7.0	88	249	243
4	27.6	25.6	608	7.0	88	250	244
5	27.6	25.6	608	7.0	88	250	244

Hasil pengujian hari keempat menunjukkan peningkatan signifikan pada parameter kesuburan tanah, dengan kelembapan 27,3–27,8°C, suhu stabil 25,5–25,6%, dan nilai EC 607–608 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nilai pH konsisten pada 7,0 menunjukkan kondisi netral yang ideal bagi tanaman, sementara kadar N, P, dan K masing-masing mencapai 88 mg/kg, 249–250 mg/kg, dan 243–244 mg/kg.



Gambar 7. Hasil Perbandingan Pengujian alat pendeteksi kesuburan tanah Modbus RS485

3.5 Pembahasan Teknis dan Relevansi Ilmiah

Keberhasilan sistem ini menegaskan potensi integrasi *embedded system*, komunikasi serial industri, dan *Human Machine Interface* (HMI) sebagai solusi *edge computing* di sektor pertanian. Sistem mampu melakukan akuisisi, pemrosesan, dan penyajian data lokal tanpa

ketergantungan server eksternal, mendukung prinsip *low latency data processing*.

Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi sensor multiparameter, HMI lokal, Modbus RS485 dapat menjadi arsitektur dasar smart farming tanpa internet (*offline digital agriculture architecture*). Pendekatan ini relevan bagi wilayah dengan konektivitas rendah, serta mendukung kebijakan Transformasi Pertanian Digital Nasional (Dirjen Horti Kementan, 2024).

Dari sisi inovasi, sistem ini memiliki novelty dalam integrasi sensor 7-in-1 dengan protokol Modbus RS485 berbasis *stand-alone* display, yang belum banyak diterapkan di penelitian sebelumnya (Widanti et al., 2024)

4. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menciptakan sistem pemantauan kesuburan tanah menggunakan Modbus RS485 yang bisa berfungsi secara mandiri tanpa perlu terhubung ke internet. Sistem ini dapat menggabungkan tujuh parameter penting tanah—pH, EC, N, P, K, suhu, dan kelembapan—dengan hasil tes yang menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi, stabilitas transmisi hingga 60 meter, serta konsumsi daya yang rendah sekitar 1,8 W yang bisa menggunakan powerbank. Keberhasilan ini menunjukkan efektivitas kombinasi dari sistem terintegrasi, komunikasi serial industri, dan Antarmuka Manusia-Mesin (HMI) sebagai metode *edge computing* untuk mendukung pertanian digital di daerah dengan konektivitas yang terbatas.

Secara ilmiah, penelitian ini menegaskan bahwa penggabungan sensor multiparameter dengan protokol Modbus RS485 dapat menjadi model dasar untuk pertanian digital offline, menawarkan solusi yang praktis dan efisien untuk pengelolaan nutrisi tanah secara presisi. Dengan demikian, temuan dari penelitian ini tidak hanya berperan dalam pengembangan teknologi pertanian yang cerdas, tetapi juga memperkuat kebijakan nasional untuk transformasi pertanian digital yang menyeluruh dan berkelanjutan.

4.2. Saran

Penelitian berikutnya dianjurkan untuk menggabungkan algoritma machine learning sederhana agar dapat meningkatkan ketepatan kalibrasi sensor dalam menghadapi perbedaan jenis tanah dan kondisi sekitar. Uji ketahanan jangka panjang juga harus dilakukan untuk memastikan keandalan sensor di lapangan. Selain itu, pengembangan sistem hibrid yang bisa berfungsi secara offline maupun online akan meningkatkan fleksibilitas dalam penggunaannya di berbagai daerah.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Băjenaru, V. D., Istrițeanu, S. E., & Ancuța, P. N. (2025). Autonomous, Multisensory Soil Monitoring System. *AgriEngineering*, 7(1). <https://doi.org/10.3390/agriengineering7010018>
- Braunger, M. L., Neto, M. P., Kirsanov, D., Fier, I., Amaral, L. R., Shimizu, F. M., Correa, D. S., Paulovich, F. V., Legin, A., Oliveira, O. N., & Riul, A. (2024). Analysis of Macronutrients in Soil Using Impedimetric Multisensor Arrays. *ACS Omega*, 9(31), 33949–33958. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c04452>
- Chen, X., Zhang, H., & Wong, C. U. I. (2025). Dynamic Monitoring and Precision Fertilization Decision System for Agricultural Soil Nutrients Using UAV Remote Sensing and GIS. *Agriculture*, 15(15), 1627. <https://doi.org/10.3390/agriculture15151627>
- Dirjen Horti Kementan. (2024). Angka Tetap Hortikultura Tahun 2024. *Direktorat Jenderal Hortikultura Kementerian Pertanian*, 329.
- Elaete, S., Ilukor, J., Isoto, R. E., Moruleng, A., & Opolot, H. N. (2025). Comparing indigenous and scientific (Palin test) soil fertility assessment approaches for better soil health monitoring, management, and farm decision-making in Uganda. *Discover Soil*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44378-025-00058-z>
- FAO. (2018). *The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050*. <http://www.fao.org/3/I8429EN/i8429en.pdf>
- Islam, M. R., Oliullah, K., Kabir, M. M., Alom, M., & Mridha, M. F. (2023). Machine learning enabled IoT system for soil nutrients monitoring and crop recommendation. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14(November), 100880. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100880>
- Pandey, V., Das, R., & Biswas, D. (2025). *AgroSense: An Integrated Deep Learning System for Crop Recommendation via Soil Image Analysis and Nutrient Profiling*. 1–23. <http://arxiv.org/abs/2509.01344>
- Sharafat, S., Kabya, N. Das, Emu, R. I., Ahmed, M. U., Onik, J. C., Islam, M. A., & Khan, R. (2025). An IoT-enabled AI system for real-time crop prediction using soil and weather data in precision agriculture. *Smart Agricultural Technology*, 12(March), 101263. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101263>
- Sudjadi, M., & Effendi, S. (1991). *Soil Fertility Constraints in Indonesia and Methods of Improvement*.
- Sulaeman, Y., Sutanto, E., Kasno, A., Sunandar, N., & Purwaningrahyu, R. D. (2024). Developing and Testing a Portable Soil Nutrient Detector in Irrigated and Rainfed Paddy Soils from Java, Indonesia. *Computers*, 13(8), 1–13. <https://doi.org/10.3390/computers13080209>
- Suntoro, S., Herdiansyah, G., & Mujiyo, M. (2024). Nutrient status and soil fertility index as a basis for sustainable rice field management in Madiun Regency, Indonesia. *Sains Tanah*, 21(1), 22–31. <https://doi.org/10.20961/stjssa.v21i1.73845>
- Tziolas, N., Tsakiridis, N., Chabrilat, S., Demattê, J. A. M., Ben-Dor, E., Gholizadeh, A., Zalidis, G., & van Wesemael, B. (2021). Earth observation data-driven cropland soil monitoring: A review. *Remote Sensing*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/rs13214439>
- Widanti, N., Alamsyah, A., Albus, A., Ikhsan, A. N., Lestari, S. W., Handini, W., & Raharjo, S. A. (2024). Design Smart Farming in Rice Field for Monitoring Soil Fertility and Pest Rate Using Internet of Things. *Jurnal*

Penelitian Pendidikan IPA, 10(8), 5782–5788.
<https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i8.8288>