



Design and Development of an Internet of Things-Based Soil pH and Moisture Monitoring System for Oil Palm Plants

Rancang Bangun Sistem Monitoring pH dan Kelembapan Tanah Berbasis Internet of Things pada Tanaman Kelapa Sawit

Dicky Hermawan^{1*}, Jamaluddin², Rabby Nazli³

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh, Indonesia

²Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh, Indonesia

³Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh, Indonesia

Correspondence: E-mail: dicky62y@gmail.com

Abstract

*Oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) is one of Indonesia's leading plantation commodities whose productivity depends on soil pH and moisture. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based monitoring system capable of measuring soil pH and soil moisture in real time while providing fertilizer recommendations. The ADDIE model was adopted consisting of Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation. The system integrates ESP32, soil pH sensor, soil moisture sensor, Firebase, and a Kodular-based Android application. Experimental results indicate that the proposed system performs real-time monitoring and provides fertilizer recommendations according to predefined rules.*



Copyright (c) 2026 Dicky Hermawan, Jamaluddin, Rabby Nazli

Article Information

Article History:

Received: 20/07/2026

First Revised: 28/08/2026

Accepted: 29/09/2026

Publication Date: 29/09/2026

Keywords:

Internet of Things; Oil Palm; Real-Time Monitoring; Soil Moisture; Soil pH

Abstrak

Tanaman kelapa sawit merupakan komoditas perkebunan yang produktivitasnya dipengaruhi oleh kondisi pH dan kelembapan tanah. Penelitian ini bertujuan merancang sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu melakukan pemantauan secara real-time dan memberikan rekomendasi pemupukan. Metode yang digunakan adalah ADDIE. Sistem dibangun menggunakan ESP32, sensor pH tanah, sensor kelembapan tanah, *Firestore*, dan aplikasi Android berbasis Kodular. Hasil penelitian menunjukkan sistem mampu melakukan monitoring kondisi tanah secara real-time serta menghasilkan rekomendasi pemupukan berdasarkan kondisi pH tanah.



Copyright (c) 2026 Dicky Hermawan, Jamaluddin, Rabby Nazli

Artikel Info**Riwayat Artikel:**

Diterima: 20/07/2026

Direvisi: 28/08/2026

Disetujui: 29/09/2026

Dipublikasikan: 29/09/2026

Kata Kunci:

Internet of Things; Kelapa Sawit; Kelembapan Tanah; Monitoring Real-Time; pH Tanah

1. Pendahuluan

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu komoditas perkebunan strategis yang memiliki peranan penting dalam perekonomian Indonesia. Sebagai salah satu produsen minyak sawit terbesar di dunia, Indonesia menjadikan kelapa sawit sebagai komoditas unggulan yang berkontribusi terhadap devisa negara, penyerapan tenaga kerja, serta penyediaan bahan baku bagi berbagai sektor industri, seperti industri pangan, kosmetik, farmasi, dan energi. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Perkebunan, pada tahun 2025 luas areal perkebunan kelapa sawit Indonesia mencapai sekitar 16,83 juta hektare yang tersebar di 28 provinsi, dengan produksi minyak sawit mentah (Crude Palm Oil/CPO) sekitar 46,55 juta ton dan produktivitas rata-rata nasional sebesar 3,6 ton per hektare. Pada tahun yang sama, volume ekspor produk kelapa sawit mencapai sekitar 36,37 juta ton dengan nilai ekspor sebesar US\$28,50 miliar. Data tersebut menunjukkan besarnya skala perkebunan kelapa sawit serta pentingnya peningkatan produktivitas dan efisiensi pengelolaan perkebunan secara berkelanjutan (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2026).

Tingginya kebutuhan minyak sawit di pasar domestik maupun internasional menuntut peningkatan produktivitas tanaman melalui penerapan sistem budidaya yang lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan. Oleh karena itu, pengelolaan faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan tanaman menjadi aspek yang sangat penting dalam mendukung produktivitas perkebunan kelapa sawit (Oksana et al., 2025).

Produktivitas tanaman kelapa sawit dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain kondisi iklim, kualitas bibit, teknik budidaya, ketersediaan unsur hara, serta karakteristik fisik dan kimia tanah. Di antara berbagai faktor tersebut, kondisi tanah merupakan salah satu komponen utama yang menentukan keberhasilan pertumbuhan tanaman karena tanah berfungsi sebagai media penyedia air, unsur hara, dan tempat berkembangnya sistem perakaran. Kondisi tanah yang tidak sesuai dapat menyebabkan terganggunya proses fisiologis tanaman sehingga pertumbuhan vegetatif maupun generatif menjadi kurang optimal. Oleh sebab itu, pemantauan kondisi tanah secara berkala menjadi salah satu upaya penting dalam menjaga produktivitas tanaman kelapa sawit secara berkelanjutan. (Daulay et al., 2022)

Salah satu parameter yang sangat berpengaruh terhadap kualitas tanah adalah tingkat keasaman (pH) tanah. Nilai pH menentukan tingkat ketersediaan unsur hara yang dapat diserap oleh tanaman. Kondisi tanah yang terlalu asam maupun terlalu basa menyebabkan beberapa unsur hara menjadi tidak tersedia sehingga proses penyerapan nutrisi oleh akar tanaman menjadi terhambat. Pada tanaman kelapa sawit, kondisi tanah dengan pH di bawah kisaran optimum dapat meningkatkan kelarutan unsur aluminium dan besi yang bersifat

toksik terhadap akar tanaman, sedangkan pH yang terlalu tinggi dapat menurunkan ketersediaan unsur hara mikro yang dibutuhkan tanaman. Akibatnya, pertumbuhan tanaman menjadi kurang optimal dan efisiensi pemupukan mengalami penurunan. Oleh karena itu, pemantauan nilai pH tanah merupakan salah satu langkah penting dalam mendukung pengelolaan lahan yang lebih efektif. (Sri Wahyuna Saragih et al., 2025)

Selain pH tanah, kelembapan tanah juga merupakan parameter penting yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman kelapa sawit. Kelembapan tanah menunjukkan tingkat ketersediaan air yang dibutuhkan tanaman dalam menjalankan berbagai proses fisiologis, seperti penyerapan unsur hara, fotosintesis, respirasi, dan metabolisme sel. Kondisi tanah yang terlalu kering menyebabkan tanaman mengalami stres air sehingga pertumbuhan menjadi terhambat, sedangkan kondisi tanah yang terlalu basah dapat mengurangi aerasi tanah dan meningkatkan risiko pembusukan akar. Tingkat kelembapan tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti curah hujan, karakteristik tanah, evaporasi, dan aktivitas budidaya. Oleh sebab itu, informasi mengenai kelembapan tanah diperlukan sebagai dasar dalam menentukan strategi pengelolaan lahan yang tepat sehingga kondisi lingkungan tumbuh tanaman tetap berada pada kisaran yang optimal. (Ula et al., 2025)

Meskipun kedua parameter tersebut memiliki peranan yang sangat penting, proses pemantauan pH dan kelembapan tanah pada sebagian besar perkebunan masih dilakukan secara manual menggunakan alat ukur sederhana dengan interval pengukuran tertentu. Cara tersebut memiliki beberapa keterbatasan, antara lain data yang diperoleh hanya menggambarkan kondisi tanah pada saat pengukuran dilakukan, tidak tersimpan secara sistematis, serta tidak mampu memberikan informasi secara berkelanjutan. Keterbatasan tersebut menyebabkan pengambilan keputusan, khususnya dalam kegiatan pemupukan, sering kali tidak didasarkan pada kondisi tanah yang sebenarnya sehingga efektivitas penggunaan pupuk menjadi kurang optimal. Selain itu, proses pengukuran manual juga memerlukan waktu dan tenaga yang relatif lebih besar sehingga kurang efisien apabila diterapkan pada areal perkebunan yang luas. (Arifin et al., 2025)

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan peluang untuk mengatasi berbagai keterbatasan dalam proses monitoring kondisi tanah pada sektor pertanian dan perkebunan. Teknologi IoT memungkinkan berbagai perangkat, seperti sensor, mikrokontroler, dan media komunikasi data, saling terhubung melalui jaringan internet sehingga proses pengambilan, pengiriman, penyimpanan, dan penyajian data dapat dilakukan secara otomatis dan berkelanjutan. Dengan memanfaatkan sensor pH tanah dan sensor kelembapan tanah yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32, informasi mengenai kondisi tanah dapat diperoleh secara **real-time** dan ditampilkan melalui aplikasi berbasis Android. Informasi tersebut tidak hanya memudahkan pengguna dalam memantau kondisi lahan dari jarak jauh, tetapi juga menjadi dasar dalam menentukan tindakan pengelolaan lahan, khususnya pemberian rekomendasi pemupukan berdasarkan kondisi pH tanah. Penerapan teknologi IoT diharapkan mampu meningkatkan efisiensi proses monitoring sekaligus mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat, tepat, dan berbasis data dalam budidaya tanaman kelapa sawit. (Wang et al., 2023)

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode **Research and Development (R&D)** dengan model pengembangan **ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation)**. Model ini dipilih karena memberikan tahapan pengembangan yang sistematis, mulai dari identifikasi kebutuhan hingga evaluasi sistem yang telah dikembangkan. Metode ADDIE sesuai untuk penelitian yang berorientasi pada perancangan dan implementasi sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT). (Surapati & Farizi, 2026)

Penelitian dilaksanakan di Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh selama empat bulan. Tahapan penelitian meliputi studi

literatur, analisis kebutuhan sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi sistem, pengujian, serta evaluasi hasil penelitian.

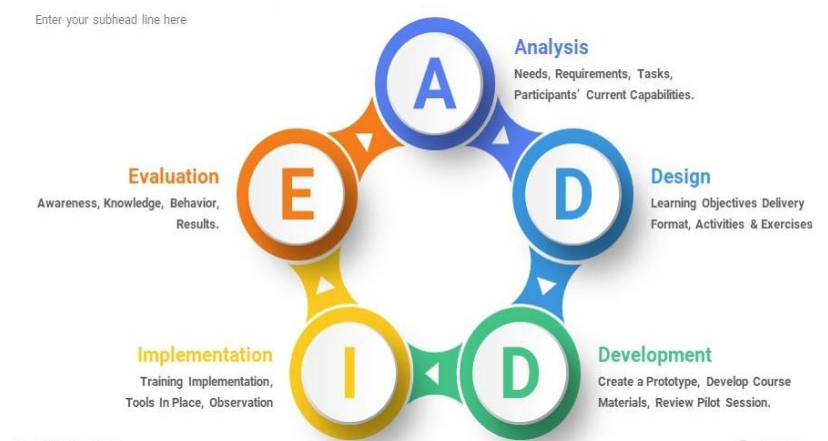
Untuk penelitian kualitatif, studi kasus, dan lain-lain, perlu ditambahkan kehadiran peneliti, subyek penelitian, informan yang ikut membantu beserta cara-cara menggali data-data penelitian, lokasi dan lama penelitian serta uraian mengenai pengecekan keabsahan hasil penelitian.

Tahap **Design** meliputi perancangan arsitektur sistem, diagram blok, flowchart proses, rancangan perangkat keras, dan rancangan perangkat lunak. Pada tahap ini juga disusun mekanisme pengiriman data dari sensor menuju aplikasi monitoring serta aturan rekomendasi pemupukan berdasarkan nilai pH tanah. Arsitektur sistem dirancang agar mampu melakukan monitoring secara *real-time* melalui jaringan internet.

Tahap **Development** merupakan proses implementasi rancangan menjadi sistem yang dapat berfungsi. Perangkat keras terdiri atas mikrokontroler ESP32, sensor pH tanah, sensor kelembapan tanah YL-69, serta sumber daya berupa baterai litium. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler dan Kodular untuk membangun aplikasi Android. *Firestore* digunakan sebagai media penyimpanan sekaligus sinkronisasi data hasil pembacaan sensor.

Tahap **Implementation** dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen sistem kemudian melakukan pengujian pada kondisi sebenarnya. Sensor membaca nilai pH dan kelembapan tanah secara periodik, kemudian data diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke *Firestore* melalui jaringan internet. Data yang telah tersimpan ditampilkan pada aplikasi Android sehingga pengguna dapat memantau kondisi tanah secara *real-time*.

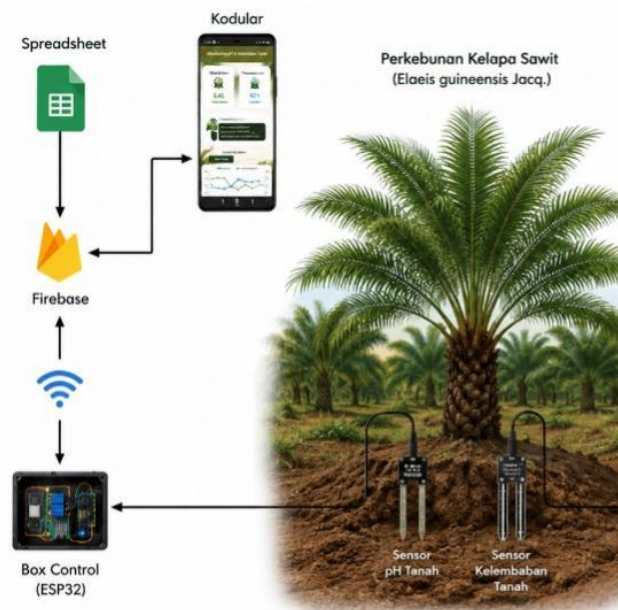
Tahap **Evaluation** dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem secara keseluruhan. Evaluasi mencakup pengujian akurasi sensor dengan membandingkan hasil pembacaan terhadap alat ukur pembanding, pengujian keberhasilan pengiriman data menuju aplikasi monitoring, serta pengujian kesesuaian rekomendasi pemupukan yang dihasilkan berdasarkan aturan yang telah ditentukan. Hasil evaluasi digunakan untuk mengetahui tingkat kelayakan sistem sebagai media monitoring pH dan kelembapan tanah pada tanaman kelapa sawit.



Gambar 1. model pengembangan ADDIE

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menghasilkan sistem monitoring pH dan kelembapan tanah berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu memantau kondisi tanah secara *real-time* pada tanaman kelapa sawit. Sistem mengintegrasikan ESP32, sensor pH dan kelembapan tanah, *Firestore* Realtime Database, serta aplikasi Android berbasis Kodular untuk mengakuisisi, menyimpan, dan menampilkan data secara otomatis.



Gambar 2. Arsitektur Sistem Monitoring pH dan Kelembapan Tanah Berbasis IoT

Berdasarkan Gambar 1, proses monitoring dimulai ketika sensor pH tanah dan sensor kelembapan membaca kondisi media tanam. Data hasil pembacaan diproses oleh mikrokontroler ESP32 kemudian dikirim menuju Firebase Realtime Database menggunakan jaringan internet. Selanjutnya data ditampilkan pada aplikasi monitoring berbasis Kodular sehingga pengguna dapat memantau perubahan kondisi tanah secara real-time. Arsitektur tersebut menunjukkan (Aleiadah, 2024) bahwa seluruh komponen mampu berkomunikasi dengan baik sehingga proses monitoring dapat berjalan secara berkelanjutan.

Pengujian sensor pH dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur pembanding. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu membaca perubahan nilai pH tanah dengan tingkat kesalahan yang masih dapat diterima sehingga layak digunakan pada sistem monitoring. Perbedaan pembacaan dipengaruhi oleh proses kalibrasi sensor, kondisi media tanam, serta karakteristik lingkungan saat pengujian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang memadai untuk mendukung proses monitoring kondisi tanah secara berkelanjutan.

Selain pengujian pH, sensor kelembapan tanah juga menunjukkan kinerja yang baik dalam membedakan kondisi tanah kering, sedang, dan lembap. Nilai pembacaan sensor semakin tinggi ketika kondisi tanah semakin kering, sedangkan nilai yang lebih rendah menunjukkan kondisi tanah yang lebih lembap. Berdasarkan hasil pengujian, sensor mampu mengidentifikasi perubahan kadar air secara konsisten sehingga dapat digunakan sebagai parameter dalam sistem monitoring tanaman kelapa sawit.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sistem Sensor Kelembaban tanah

No	Nilai Sensor	Kategori Sensor	Kondisi Tanah
1.	3200	Kering	Kering
2.	2850	Kering	Kering
3.	2200	Sedang	Sedang
4.	1800	Sedang	Sedang
5.	1200	Lembap	Lembap

Data pada Tabel 1 memperlihatkan bahwa sensor memberikan respons yang konsisten terhadap perubahan kadar air tanah. Perbedaan nilai pembacaan antar kondisi menunjukkan

bahwa sensor memiliki sensitivitas yang cukup baik untuk digunakan dalam sistem monitoring berbasis IoT.

Selanjutnya dilakukan pengujian komunikasi data antara ESP32 dan Firebase Realtime Database. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh data hasil pembacaan sensor berhasil dikirim dan diterima oleh database tanpa kehilangan data sehingga tingkat keberhasilan komunikasi mencapai 100%. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi antara ESP32, jaringan internet, dan Firebase mampu mendukung proses monitoring secara real-time.

Tabel 2. Hasil Pengujian Pengiriman Data ke Firebase

No	Data Dikirim	Data Diterima Firebase	Status
1.	1	1	Berhasil
2.	1	1	Berhasil
3.	1	1	Berhasil
4.	1	1	Berhasil
5.	1	1	Berhasil

Keberhasilan pengiriman data tersebut memungkinkan aplikasi monitoring berbasis Kodular menampilkan kondisi tanah secara langsung kepada pengguna. Informasi pH tanah, kelembapan tanah, dan rekomendasi pemupukan dapat diakses melalui smartphone sehingga proses monitoring menjadi lebih praktis dibandingkan metode manual.

Implementasi sistem rekomendasi pemupukan menjadi salah satu kontribusi utama penelitian ini. Sistem tidak hanya menyajikan data hasil pengukuran, tetapi juga memberikan rekomendasi tindakan berdasarkan nilai pH tanah yang diperoleh. Ketika kondisi tanah berada pada kisaran tertentu sesuai aturan yang telah ditetapkan, aplikasi menampilkan rekomendasi pupuk yang sesuai sehingga pengguna memperoleh informasi yang lebih mudah dipahami untuk mendukung pengambilan keputusan di lapangan.

Berdasarkan seluruh hasil pengujian, sistem yang dikembangkan mampu menjalankan fungsi monitoring secara efektif, mulai dari pembacaan sensor, pengiriman data ke Firebase, penyajian informasi melalui aplikasi Android, hingga pemberian rekomendasi pemupukan. Dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya yang umumnya hanya berfokus pada monitoring pH atau kelembapan tanah, penelitian ini menawarkan nilai tambah berupa integrasi sistem monitoring dengan rekomendasi pemupukan berbasis aturan (*rule-based system*). Temuan tersebut menunjukkan bahwa sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga sebagai pendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan lahan kelapa sawit.

4. Simpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem monitoring pH dan kelembapan tanah berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32 yang terintegrasi dengan Firebase Realtime Database dan aplikasi Android berbasis Kodular. Sistem mampu memantau kondisi pH dan kelembapan tanah secara *real-time*, menampilkan hasil pengukuran melalui aplikasi, serta memberikan rekomendasi pemupukan berdasarkan nilai pH tanah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen sistem bekerja sesuai dengan rancangan sehingga sistem dapat digunakan sebagai media monitoring kondisi tanah pada budidaya kelapa sawit secara lebih efektif dan efisien.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh yang telah memberikan dukungan dan fasilitas selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing, dosen penguji, serta semua pihak yang telah memberikan saran, masukan, dan bantuan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

6. Daftar Pustaka

- Aleiadeh, H. (2024). Optimization of fertilizer use efficiency, soil quality and oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) growth with biochar under drip irrigation conditions irrigation conditions. *International Journal of Horticultural Science*. <https://doi.org/10.31421/ijhs/30/2024/14191>
- Arifin, S., Kurniawati, N., Agustiani, R., & Elsandika, G. (2025). Sistem Monitoring Kesuburan Lahan Pertanian menggunakan Sensor pH, Sensor Suhu, Intensitas Cahaya, dan Kelembapan Tanah Berbasis Internet of Things. *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, 5(2), 97–106. <https://doi.org/10.33019/jrfi.v5i2.5334>
- Daulay, A. S., Nelvia, N., & Adiwirman, A. (2022). Soil Physical Properties and Oil Palm Plant (*Elaeis guineensis* Jacq.) Growth Applied with Solid Waste of Palm Oil Mill. *JURNAL AGRONOMI TANAMAN TROPIKA (JUATIKA)*, 4(1), 16–25. <https://doi.org/10.36378/juatika.v4i1.803>
- Oksana, Riska Dian Oktari, & Arya Wirandanu. (2025). Differences in Soil Nutrient Levels in Oil Palm Plantations (*Elaeis guineensis* Jacq.) Planting Age 6 and 8 Years. *JURNAL AGRONOMI TANAMAN TROPIKA (JUATIKA)*, 7(2). <https://doi.org/10.36378/juatika.v7i2.4677>
- Sri Wahyuna Saragih, Rosliana Lubis, Yohannes Adhyaksa, Mahidin EL Wafa Hasibuan, Apriansyah Sembiring, Izhar Hasan Nasution, Sigit, Dwi Mutia Anggraini, & Bibel Agrivino Meliala. (2025). PENGARUH NILAI PH TANAH TERHADAP POTENSI PENGGUNAAN LAHAN PERTANIAN SECANGGANG KABUPATEN LANGKAT. *Jurnal Agro Fabrica*, 7(1), 1–8.
- Surapati, U., & Farizi, F. (2026). Implementasi Sistem IoT untuk Pemantauan Kelembaban dan pH Tanah secara Real-Time pada Tanaman Hortikultura. *Jurnal JTIK (Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi)*, 10(2), 498–503. <https://doi.org/10.35870/jtik.v10i2.5278>
- Sutandi, A., Nugroho, B., & Sejati, B. (2011). HUBUNGAN KEDALAMAN PIRIT DENGAN BEBERAPA SIFAT KIMIA TANAH DAN PRODUKSI KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis*). *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 13(1), 21–24. <https://doi.org/10.29244/jitl.13.1.21-24>
- Ula, M., Ezwarsyah, E., Saptari, M. A., Bakhtiar, B., & Multazam, T. (2025). System monitoring Soil PH moisture based IoT. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 5(1), 169–174. <https://doi.org/10.47709/brilliance.v5i1.5974>
- Wang, J., Zhang, X., Xiao, L., & Li, T. (2023). Survey for Soil Sensing with IOT and Traditional Systems. *Network*, 3(4), 482–501. <https://doi.org/10.3390/network3040021>