

RANCANGAN SENSOR IOT UNTUK MONITORING KELEMBAPAN DAN PH TANAH SECARA REAL-TIME DI LAHAN FAKULTAS PERTANIAN UNIVERSITAS WAHIDIYAH

Siti Indra Rukmana

Program Studi Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Wahidiyah
irukmana141@gmail.com

Misbahcudin, M.Kom.

Program Studi Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Wahidiyah
misbahdino@gmail.com

Farady Alif F, M.T.

Program Studi Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kediri
farradyalif@uniska-kediri.ac.id

ABSTRAK

Siti Indra Rukmana. 2026. Rancangan Sensor IoT untuk Monitoring Kelembapan dan pH Tanah secara Real-Time di Lahan Fakultas Pertanian Universitas Wahidiyah.

Kata Kunci: *Internet of Things, ESP32-C3, soft sensor, Jaringan Saraf Tiruan, Fast Fourier Transform, K-Fold Cross-Validation, kelembapan tanah, pH tanah.*

Tanah merupakan media tumbuh utama dalam pertanian yang kesuburannya ditentukan oleh kelembapan, derajat keasaman (pH), serta unsur hara nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Pemantauan tanah secara manual cenderung subjektif dan tidak konsisten sehingga diperlukan sistem pemantauan otomatis. Penelitian ini bertujuan merancang, menguji, dan memvalidasi sistem soft-sensor berbasis Internet of Things (IoT) untuk menduga parameter tanah secara real-time di lahan Fakultas Pertanian Universitas Wahidiyah. Metode yang digunakan adalah kuantitatif eksperimental terhadap 50 sampel tanah. Sistem dibangun menggunakan empat unit mikrokontroler ESP32-C3 (satu Access Point dan tiga klien) yang terhubung melalui jaringan WiFi lokal, dengan data tersimpan pada basis data MySQL dan ditampilkan melalui dashboard web. Pengukuran dilakukan menggunakan elektroda kustom dua batang stainless steel yang sinyalnya ditransformasikan dengan Fast Fourier Transform (FFT) menjadi 2.048 fitur, kemudian diolah oleh Jaringan Saraf Tiruan (JST) berarsitektur 2048–30–5 dengan algoritma optimasi ADAM dan fungsi aktivasi ReLU. Nilai acuan (ground truth) pH, N, P, dan K diperoleh dari soil test kit, sedangkan kadar air ditentukan secara gravimetri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem IoT berhasil dirancang dan diimplementasikan secara utuh dengan seluruh komponen berfungsi dan saling terhubung. Pada tahap pelatihan, model JST mencapai akurasi keseluruhan 98,55% dan akurasi kadar air 93,94% dengan rata-rata MSE 0,0126, namun nilai ini semata mencerminkan kecocokan model terhadap data yang telah dihafalnya. Validasi 5-Fold Cross-Validation pada data baru menghasilkan akurasi generalisasi keseluruhan sebesar 68,58%, membuktikan bahwa model tidak mengalami overfitting yang memanipulasi performa. Akurasi tinggi pada N, P, K, dan pH bersifat trivial karena rendahnya variansi data di lapangan, sehingga kadar air, dengan rentang 6%–40%, menjadi tolok ukur prediksi paling bermakna, dengan akurasi tervalidasi sebesar 46,45%. Dengan demikian, penelitian ini berhasil membuktikan bahwa sistem IoT tidak hanya baik pada aspek perancangan dan implementasi, tetapi juga menunjukkan kemampuan prediktif yang nyata melalui validasi generalisasi, meskipun akurasi pada parameter kadar air masih perlu ditingkatkan pada penelitian selanjutnya.

ABSTRACT

Siti Indra Rukmana. 2026. Design of an IoT Sensor for Real-Time Monitoring of Soil Moisture and pH on the Agricultural Land of the Faculty of Agriculture, Universitas Wahidiyah.

Keywords: *Internet of Things, ESP32-C3, soft sensor, Artificial Neural Network, Fast Fourier Transform, K-Fold Cross-Validation, soil moisture, soil pH.*

Soil is the main growing medium in agriculture, and its fertility is determined by moisture, acidity (pH), and the nutrients nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K). Manual soil monitoring tends to be subjective and inconsistent, so an automated monitoring system is needed. This study aims to design, test, and validate an Internet of Things (IoT)-based soft-sensor system for estimating soil parameters in real time on the agricultural land of the Faculty of Agriculture, Universitas Wahidiyah. The method used was experimental quantitative research on 50 soil samples. The system was built using four ESP32-C3 microcontrollers (one Access Point and three clients)

connected through a local WiFi network, with data stored in a MySQL database and displayed on a web dashboard. Measurements were carried out using custom dual stainless-steel electrodes whose signals were transformed using the Fast Fourier Transform (FFT) into 2,048 features, which were then processed by an Artificial Neural Network (ANN) with a 2048–30–5 architecture using the ADAM optimizer and the ReLU activation function. The ground-truth values of pH, N, P, and K were obtained from a soil test kit, while moisture content was determined gravimetrically. The results show that the IoT system was successfully designed and fully implemented, with all components functioning and interconnected. During training, the ANN model achieved an overall accuracy of 98.55% and a moisture accuracy of 93.94% with an average MSE of 0.0126, although this figure merely reflects the model's fit to data it had already memorized. Validating the model on unseen data through 5-Fold Cross-Validation produced an overall generalization accuracy of 68.58%, confirming that the model does not suffer from overfitting that manipulates performance. The high accuracy for N, P, K, and pH is trivial given the low variance of the field data, so moisture content, ranging from 6% to 40%, stands as the most meaningful predictive benchmark, with a validated accuracy of 46.45%. Therefore, this study demonstrates that the IoT system performs well not only in design and implementation but also shows genuine predictive capability through generalization validation, although moisture-prediction accuracy still requires improvement in future research.

PENDAHULUAN

Tanah merupakan komponen penting dalam pertanian yang berfungsi sebagai media tumbuh utama bagi tanaman, menyediakan unsur hara, air, dan dukungan fisik bagi akar. Sebagai negara agraris, Indonesia menjadikan tanah sebagai basis ketahanan pangan nasional, sehingga pemantauan kondisi tanah secara berkelanjutan menjadi langkah penting untuk menjamin produktivitas pertanian. Kesuburan tanah antara lain ditentukan oleh kelembapan, derajat keasaman (pH), serta ketersediaan unsur hara nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K).

Iklim tropis Indonesia menyebabkan kondisi tanah mudah mengalami perubahan kelembapan dan pH mengikuti pergantian musim, sementara kebutuhan tiap tanaman terhadap parameter tersebut sangat spesifik, seperti tomat yang memerlukan kelembapan tanah 60%–80% (Putra et al., 2024) dan jamur tiram putih dengan pH optimum 6–7 (Adzdziqri et al., 2021), serta cabai yang membutuhkan kelembapan 20,63%–34% (Khairunisa et al., 2021). Tanpa pengukuran yang akurat dan konsisten, pertumbuhan tanaman dapat terganggu, sedangkan pemantauan manual selama ini masih dilakukan secara subjektif dan tidak konsisten (Cahyono & Akbar, 2025).

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan pembacaan data sensor, pengolahan, dan pengiriman informasi secara real-time kepada pengguna (Ridwan & Sari, 2021). Akan tetapi, hubungan antara sinyal listrik yang terbaca elektroda dengan sifat kimia-fisik tanah bersifat kompleks dan tidak linear, sehingga sulit dimodelkan dengan rumus matematika sederhana. Penelitian ini mengatasi hal tersebut dengan mentransformasikan sinyal elektroda stainless steel ke domain frekuensi menggunakan Fast Fourier Transform (FFT), kemudian mengolah hasilnya dengan Jaringan Saraf Tiruan (JST) yang dilatih menggunakan algoritma optimasi ADAM dan

fungsi aktivasi ReLU terhadap data acuan dari soil test kit, karena JST terbukti efektif memproses data sensor berpola rumit (Zaid et al., 2023).

Tantangan utama penerapan JST pada data sensor lapangan adalah kemampuan model melakukan generalisasi terhadap variasi kondisi tanah yang dinamis; banyak penelitian sebelumnya menunjukkan akurasi tinggi pada data latih namun lemah dalam memprediksi data baru. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya berfokus pada perancangan sistem IoT, tetapi juga menerapkan validasi K-Fold Cross-Validation untuk menguji ketahanan model secara objektif. Penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan melakukan validasi ketat terhadap sistem IoT pemantauan kelembapan dan pH tanah di Lahan Fakultas Pertanian Universitas Wahidiyah, sebagai kontribusi pada pengembangan pertanian presisi berbasis data yang terukur dan tervalidasi.

METODE PENELITIAN

1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimental terhadap 50 sampel tanah. Sistem membandingkan dua pendekatan pengukuran, yaitu pengukuran acuan (ground truth) secara manual menggunakan soil test kit untuk memperoleh nilai pH, N, P, dan K, dengan pengukuran berbasis elektroda yang sinyalnya ditransformasikan dengan FFT lalu diolah JST untuk memprediksi parameter tanah tersebut beserta kadar air.

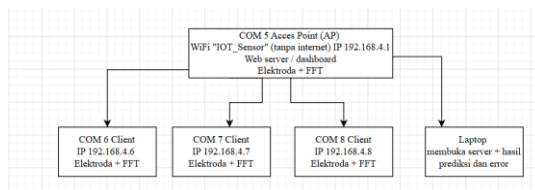
2. Lokasi dan Sampel Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Lahan Fakultas Pertanian Universitas Wahidiyah, Jl. KH Wachid Hasyim No. 121, Bandar Lor, Kota Kediri. Sebanyak 50 titik sampel tanah diambil dari lahan tersebut dan

diletakkan pada wadah cup gelas terpisah. Variasi kadar air diperoleh dengan mengeringkan sampel secara bertahap melalui pemanasan, sehingga diperoleh sampel dengan kadar air yang beragam untuk menguji kemampuan sistem pada kondisi kering hingga lembap.

3. Instrumen Penelitian

Perangkat keras terdiri atas empat unit mikrokontroler ESP32-C3 Super Mini beserta expansion board, elektroda kustom dua batang stainless steel berdiameter 4 mm (20 cm) sebagai soft sensor, kabel AWG26, baterai 18650 sebagai catu daya portabel, resistor 2k2 sebagai penstabil pembacaan sinyal, dan soil test kit untuk memperoleh data acuan pH, N, P, dan K. Keempat unit ESP32-C3 dihubungkan dalam topologi jaringan star melalui WiFi lokal, dengan satu unit sebagai Access Point sekaligus gerbang basis data dan tiga unit sebagai klien, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Topologi Jaringan Star Sistem IoT

4. Prosedur Penelitian

Setiap sampel diuji melalui dua jalur yang berjalan berdampingan. Pertama, pengujian manual

dengan soil test kit menghasilkan nilai pH, N, P, dan K, sedangkan kadar air diukur dengan metode gravimetri melalui selisih berat sebelum dan sesudah pengeringan; seluruh hasil disimpan sebagai data acuan (ground truth). Kedua, pengujian elektroda: satu batang memberi eksitasi tegangan 3,7 V dan satu batang membaca respons elektrik tanah melalui pin ADC, menghasilkan sinyal impulse dan step sebanyak 2.048 cuplikan. Sinyal tersebut ditransformasikan dengan FFT menjadi 2.048 fitur (1.024 dari impulse dan 1.024 dari step) sebagai masukan model JST berarsitektur Multi-Layer Perceptron 2048–30–5, terdiri atas lapisan masukan 2.048 neuron, satu lapisan tersembunyi berisi 30 neuron dengan fungsi aktivasi ReLU, dan lapisan keluaran 5 neuron (N, P, K, pH, kadar air) dengan fungsi aktivasi linear. Model dilatih menggunakan algoritma optimasi ADAM dengan laju pembelajaran 0,001 selama 10.000 epoch, dengan Mean Squared Error (MSE) sebagai metrik evaluasi.

5. Validasi Model

Untuk membuktikan keandalan model tanpa bias pada data tertentu, kinerja JST divalidasi menggunakan metode 5-Fold Cross-Validation. Sebanyak 50 sampel dibagi secara acak menjadi lima kelompok (fold); pada tiap iterasi, empat fold (40 sampel) digunakan sebagai data latih dan satu fold (10 sampel) sebagai data uji yang belum pernah dipelajari model, diulang sebanyak lima kali dengan kombinasi fold yang berbeda. Rata-rata error dari kelima iterasi digunakan untuk menentukan akurasi generalisasi sistem secara keseluruhan, dengan akurasi dihitung sebagai 100% dikurangi rata-rata error relatif.

Iterasi	Sampel Uji (Nomor Sampel)	MSE
1 (Fold 1)	1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36, 41, 46	124,31
2 (Fold 2)	2, 7, 12, 17, 22, 27, 32, 37, 42, 47	394,83
3 (Fold 3)	3, 8, 13, 18, 23, 28, 33, 38, 43, 48	319,99
4 (Fold 4)	4, 9, 14, 19, 24, 29, 34, 39, 44, 49	210,64
5 (Fold 5)	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50	240,48
Rata-rata MSE (5 fold)		258,05
Standar Deviasi MSE		92,72

Tabel 1. Hasil Mean Squared Error (MSE) 5-Fold Cross-Validation

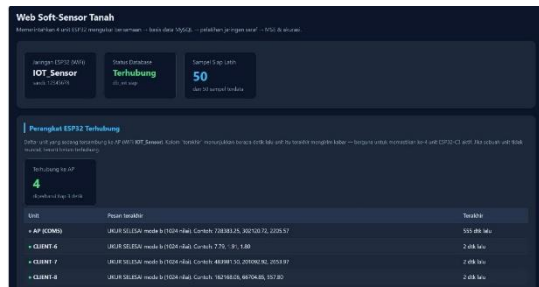
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Implementasi Sistem IoT

Sistem berhasil diimplementasikan dalam bentuk aplikasi web (dashboard) yang memantau jaringan sensor secara langsung. Empat unit ESP32-C3 terhubung dalam satu jaringan WiFi lokal bernama

IOT_Sensor, terdiri atas satu unit Access Point (AP/COM5) dan tiga unit klien (CLIENT-6, CLIENT-7, CLIENT-8). Data pengukuran tersimpan pada basis data MySQL (db_iot), dengan seluruh 50 sampel berhasil terdata, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Hal ini membuktikan bahwa perangkat keras, jaringan WiFi lokal, dan jalur penyimpanan

basis data telah berfungsi dan saling terhubung dengan baik.



Gambar 2. Tampilan Dashboard Web Sistem Soft-Sensor Tanah

2. Hasil Pelatihan Model dan Validasi Generalisasi

Model JST 2048–30–5 dilatih dengan algoritma ADAM (laju pembelajaran 0,001, 10.000 epoch), memperoleh rata-rata MSE 0,0126 pada data latih, dengan akurasi keseluruhan 98,55% dan akurasi kadar air 93,94% (Gambar 3). Nilai ini hanya mencerminkan kecocokan model terhadap data yang telah dihafalnya (training accuracy) dan berpotensi mengindikasikan overfitting, sehingga diperlukan validasi lebih lanjut.



Gambar 3. Hasil Pelatihan Model dan Akurasi per Parameter

Validasi 5-Fold Cross-Validation terhadap data baru menghasilkan gambaran yang jauh lebih objektif (Tabel 1). Berdasarkan metrik error relatif, akurasi generalisasi keseluruhan tercatat sebesar 68,58% (error relatif 31,42%), sedangkan akurasi khusus parameter kadar air sebesar 46,45% (error relatif 53,55%).

3. Pembahasan

Terdapat kesenjangan performa yang signifikan antara fase pelatihan (98,55%) dan fase validasi (68,58%). Akurasi tinggi pada nitrogen, fosfor, kalium, dan pH bersifat trivial karena rendahnya variansi keempat parameter tersebut di lokasi penelitian, dengan nilai kalium yang cenderung konstan di angka 240 mg/L dan pH yang mayoritas berada di angka 8, sehingga model dapat memprediksi dengan akurasi semu tinggi tanpa benar-benar mengenali pola sinyal yang kompleks. Sebaliknya,

kadar air yang memiliki dinamika fluktuasi data paling tinggi (rentang 6%–40%) menjadi tolok ukur kemampuan prediksi paling bermakna dalam penelitian ini.

Pencapaian akurasi generalisasi sebesar 68,58% secara keseluruhan membuktikan bahwa model JST yang dikembangkan tidak mengalami overfitting yang memanipulasi performa, dan berfungsi sebagai proof of concept bahwa fitur frekuensi hasil FFT memiliki keterkaitan dengan kondisi tanah nyata. Meskipun akurasi kadar air (46,45%) masih memiliki error relatif yang cukup besar, hasil ini tetap realistis untuk penelitian machine learning dengan dataset terbatas sebanyak 50 sampel, dan menjadi landasan bagi pengembangan sistem selanjutnya melalui penambahan dataset, optimasi arsitektur JST, dan penyesuaian preprocessing sinyal sensor.

PENUTUP

Kesimpulan

Sistem IoT untuk pemantauan kelembapan dan pH tanah berbasis soft sensor elektroda dan Jaringan Saraf Tiruan telah berhasil dirancang dan diimplementasikan secara utuh di Lahan Fakultas Pertanian Universitas Wahidiyah, dengan empat unit ESP32-C3 yang saling terhubung dan seluruh 50 sampel berhasil terakuisisi melalui dashboard web berbasis basis data MySQL. Model JST berarsitektur 2048–30–5 mencapai akurasi pelatihan 98,55% (MSE 0,0126), namun validasi 5-Fold Cross-Validation menunjukkan akurasi generalisasi yang lebih objektif sebesar 68,58%, membuktikan model tidak mengalami overfitting yang memanipulasi performa. Akurasi tinggi pada nitrogen, fosfor, kalium, dan pH bersifat trivial akibat rendahnya variansi data lapangan, sedangkan kadar air, dengan variasi 6%–40%, menjadi tolok ukur prediksi paling bermakna dengan akurasi tervalidasi 46,45%. Dengan demikian, penelitian ini membuktikan bahwa metode soft sensor berbasis sinyal elektroda dan FFT layak dijadikan proof of concept untuk pemantauan tanah presisi, meskipun akurasi kadar air masih perlu ditingkatkan melalui penambahan dataset, optimasi arsitektur JST, dan penyempurnaan preprocessing sinyal pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adzdzqiri, T. R., Pranoto, Y. A., & Rudhistiar, D. (2021). Implementasi IoT (Internet of Things) pada Rumah Budidaya Jamur Tiram Putih. JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika), 5(1), 364–365.

-
- Cahyono, B. A., & Akbar, Y. (2025). Sistem Monitoring Kondisi Kelembapan dan pH Tanah Berbasis Internet of Things (IoT) untuk Tanaman Hias. *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika dan Komunikasi (JIMIK)*, 6(3).
<https://journal.stmiki.ac.id>
- Khairunisa, N., Sunardi, & Antony. (2021). Implementasi Sistem Alarm dan Monitoring Kelembaban Tanah dan Suhu terhadap Tanaman Cabai Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Logika Fuzzy. Universitas Indo Global Mandiri.
- 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>
- Ridwan, M., & Sari, K. M. (2021). Penerapan IoT dalam Sistem Otomatisasi Kontrol Suhu, Kelembaban, dan Tingkat Keasaman Hidroponik. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 10(4), 481–487.
<https://doi.org/10.23960/jtep-l.v10i4.481-487>
- Zaid, M. M., Ichsan, M. H. H., & Setiawan, E. (2023). Sistem Kendali pH dan Nutrisi pada Hidroponik menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 7(7), 3517–3524.