



Studi Komparasi Sensor Kelembapan Tanah Menggunakan ESP32

Bavitra¹, Leo Anaris Sakti², Dimas Saputra³, Zaki Ihwan⁴, Baharudin⁵,
Muhammad Abiyyu Alharits⁶

¹⁻⁶ Universitas Maritim Raja Ali Haji, Indonesia

Alamat: Jl. Politeknik Senggarang, Kota Tanjungpinang, Kepulauan Riau

Korespondensi penulis: bavitra@umrah.ac.id

Abstract. Soil moisture is a crucial factor in agriculture that affects plant growth and crop productivity. In modern agricultural systems, accurate soil moisture monitoring is essential for optimizing water usage and enhancing the efficiency of automatic irrigation systems. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based soil moisture monitoring system and evaluate the performance of three types of soil moisture sensors: Soil Moisture FC-28, Capacitive Soil Moisture Sensor, and Soil Moisture Hygrometer Module Sensor. The evaluation compares the accuracy and effectiveness of each sensor in measuring soil moisture. The research methodology involves measuring soil moisture in ten different soil samples using the three sensors simultaneously. The system is based on the ESP32 microcontroller, where data from the sensors are processed and displayed on an LCD Liquid Crystal I2C 20x4. Data analysis is conducted using the one-way ANOVA statistical method to determine whether there are significant differences among the measurement results of the three sensors. The results indicate that each sensor exhibits different measurement characteristics based on its working principle. The Soil Moisture FC-28 sensor, which operates on resistance, shows high sensitivity to changes in soil moisture but is susceptible to corrosion. The Capacitive Soil Moisture Sensor is more durable as it does not have direct contact with the soil, yet it requires more precise calibration. Meanwhile, the Soil Moisture Hygrometer Module Sensor provides more stable results under various environmental conditions. The one-way ANOVA analysis reveals no significant differences in the measurement results among the three sensors.

Keywords: Soil moisture, Moisture sensor, ESP32, One-way ANOVA, Internet of Things (IoT).

Abstrak. Kelembapan tanah merupakan faktor penting dalam pertanian yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan produktivitas hasil panen. Dalam sistem pertanian modern, pemantauan kelembapan tanah yang akurat menjadi krusial untuk mengoptimalkan penggunaan air dan meningkatkan efisiensi sistem irigasi otomatis. Penelitian ini memberikan manfaat bagi pengembangan sistem pemantauan kelembapan tanah berbasis *Internet of Things* (IoT) serta rekomendasi dalam pemilihan sensor yang optimal untuk pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan tiga jenis sensor kelembapan tanah, yaitu *Soil Moisture FC-28*, *Capacitive Soil Moisture Sensor*, dan *Soil Moisture Hygrometer Module Sensor* untuk mengevaluasi keakuratan dan efektivitas masing-masing sensor dalam mengukur kelembapan tanah. Metode penelitian melibatkan pengukuran kelembapan pada sepuluh sampel tanah yang berbeda menggunakan ketiga sensor secara simultan. Sistem yang dikembangkan berbasis mikrokontroler ESP32, di mana data dari sensor diproses dan ditampilkan melalui LCD *Liquid Crystal I2C 20x4*. Pengolahan dan analisis data dilakukan menggunakan metode statistik ANOVA satu arah untuk menentukan apakah terdapat perbedaan signifikan antara hasil pengukuran ketiga sensor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga sensor memiliki karakteristik pengukuran yang berbeda berdasarkan prinsip kerja masing-masing. Sensor *Soil Moisture FC-28* berbasis resistansi menunjukkan sensitivitas tinggi pada perubahan kelembapan tanah, namun rentan terhadap korosi. *Capacitive Soil Moisture Sensor* lebih tahan lama karena tidak memiliki kontak langsung dengan tanah, tetapi memerlukan kalibrasi yang lebih teliti. Sementara itu, *Soil Moisture Hygrometer Module Sensor* memberikan hasil yang lebih stabil dalam berbagai kondisi lingkungan. Pada analisis ANOVA satu arah didapatkan tidak adanya perbedaan signifikan dalam hasil pengukuran ketiga sensor.

Kata kunci: Kelembapan tanah, Sensor kelembapan, ESP32, ANOVA satu arah, *Internet of Things* (IoT).

1. LATAR BELAKANG

Kelembapan tanah merupakan faktor penting dalam pertanian, yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan produktivitas hasil panen (Arafat et al., 2021). Pertanian modern mendapatkan manfaat dari manajemen kelembapan tanah yang efektif melalui sistem irigasi

otomatis yang dapat meningkatkan produktivitas tanaman sekaligus mendukung keberlanjutan lingkungan. Sistem ini memastikan tanaman menerima jumlah air yang optimal, mengurangi pemborosan, dan meningkatkan kesehatan tanaman (Ariawan, 2024). Studi terbaru menunjukkan bahwa pemantauan kelembapan tanah yang akurat dalam pertanian dan ekologi menggunakan teknologi *Internet of Things (IoT)* (Mahfud, 2023)(Ardiyallah Akbar, 2023).

Beberapa tahun terakhir, teknologi sensor kelembapan tanah mengalami kemajuan signifikan untuk pengukuran yang lebih efisien dan akurat. Perangkat terintegrasi telah dikembangkan untuk mengukur suhu tanah, kelembapan, dan resistansi secara bersamaan, dengan akurasi yang tinggi (Daniel et al., 2020). Sensor-sensor ini berbeda dalam teknologi, sensitivitas, akurasi, biaya, dan daya tahan (Mardiyati et al., 2024). Sensor kelembapan tanah yang menggunakan prinsip kapasitansi telah menjadi terkenal dalam aplikasi pertanian cerdas. Sensor ini mengukur kelembapan tanah serta mendeteksi perubahan kapasitansi antara dua elektroda, dengan tanah bertindak sebagai bahan dielektrik (Radi et al., 2018). Penelitian tentang pengukuran kelembapan tanah sangat penting untuk melihat desain probe dan kondisi lingkungan. *Time Domain Reflectometry (TDR)* menggunakan probe pelat koplanar menunjukkan hasil yang bagus untuk deteksi kelembapan tanah (Sulthoni & Wicaksono, 2020).

Penelitian ini bertujuan membandingkan tiga jenis sensor kelembapan tanah yang berbeda dan mengevaluasi apakah terdapat perbedaan yang signifikan dalam hasil pengukuran kelembapan tanah dengan menggunakan anova satu arah. *ANOVA* satu arah merupakan metode statistik yang digunakan untuk menganalisis perbedaan antara rata-rata kelompok dalam berbagai konteks penelitian (Milanes-Baños, 2024). Metode ini sangat berguna dalam berbagai bidang, termasuk penelitian, pendidikan, dan analisis (Faroh Ladayya et al., 2023)(Amri Gunasti et al., 2024). Penelitian diharapkan dapat memberikan pengetahuan terkait kelebihan dan kekurangan masing-masing sensor, serta merekomendasikan sensor yang sesuai untuk kebutuhan tertentu.

2. KAJIAN TEORITIS

A. Kelembapan Tanah

Kelembapan tanah merupakan intensitas air yang terkandung dalam pori-pori tanah. Kelembapan tanah sangat diperlukan dalam berbagai macam keperluan, terkhususnya bidang pertanian. Peningkatan pertumbuhan tanaman dan produktivitas hasil panen membutuhkan kelembapan tanah (Nanda et al., 2024).

B. Sensor Kelembapan Tanah

Untuk mengukur kelembapan tanah dapat menggunakan sensor *Soil Moisture FC-28*, *Capacitive Soil Moisture Sensor*, dan *Soil Moisture Hygrometer Module Sensor*. Sensor kelembapan tanah FC-28 adalah alat yang sederhana yang dapat mendeteksi tingkat kelembapan di dalam tanah. Sensor berfungsi untuk memantau kelembapan tanah di kebun atau pekarangan rumah. (Candra & Maulana, 2019). *Capacitive Soil Moisture Sensor* berfungsi mengukur kelembapan tanah dengan dua probe untuk mengukur resistansi tanah (Hardiwiguna & Ramdhani Nugraha, 2024). *Soil moisture hygrometer module sensor* memiliki dua probe panjang berbentuk garpu yang dimaksudkan untuk meningkatkan kontak dengan tanah untuk pengukuran kelembapan yang lebih akurat (Meilianto et al., 2022).

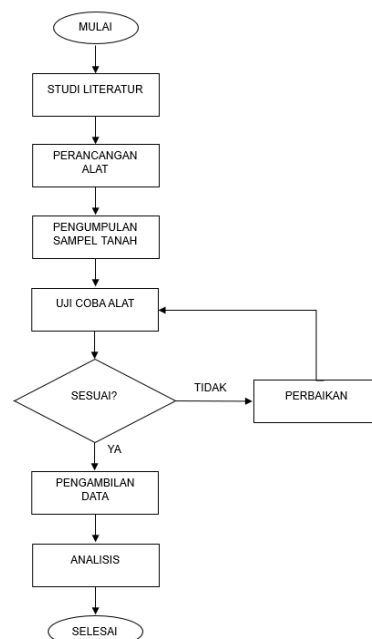
C. Mikrokontroler ESP32

ESP32 membaca sinyal sensor, mengolah nilainya menjadi tingkat kelembapan tanah serta menyampaikan informasi ke layar LCD. Salah satu mikrokontroler ESP32 yang digunakan adalah ESP32 DEVKIT V1. ESP32 DEVKIT V1 bisa digunakan untuk aplikasi *Internet of Things* (Adrian Pramuditya et al., 2023).

3. METODE PENELITIAN

A. Perancangan sistem

Dalam merancang sistem, terlebih dahulu menyusun diagram alur (*flowchart*) dari alat. *Flowchart* ini dibuat untuk mempermudah pemahaman terhadap skema alat yang dirancang.



Gambar 1. *Flowchart* sistem perancangan alat

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan tiga buah jenis sensor kelembapan tanah yang berbeda serta mengetahui terdapat perbedaan yang signifikan ketiga sensor. Caranya dilakukan dengan mengumpulkan sepuluh jenis tanah yang berbeda sebagai sampel, kemudian mengukur nilai persentase kelembapan tanah tersebut menggunakan ketiga sensor secara bersamaan.

Tahap awal penelitian ini dimulai dari proses studi literatur. Studi literatur tujuan untuk memperoleh kajian mengenai teori-teori yang berkaitan mengenai sensor kelembapan tanah seperti pengertian, prinsip kerja, metode pengukuran, dan implementasi menggunakan ESP32 untuk masing-masing sensor. Tahap selanjutnya adalah perancangan alat, dimana ketiga sensor akan dipilih dan dipasangkan dengan ESP32. Penambahan LCD untuk mempermudah mendapatkan hasil data. Pengumpulan sampel tanah pada 10 titik lokasi yang berbeda dilakukan setelah perancangan alat selesai dilakukan. Tanah yang dijadikan sampel bertujuan untuk memperoleh perbandingan dari ketiga sensor. Setelah alat dan tanah tersedia maka dilakukan uji coba alat untuk mengevaluasi kinerja dari alat saat pengambilan data. Jika data yang dihasilkan tidak sesuai dengan kondisi tanah maka dilakukan perbaikan pada alat kemudian dilakukan uji coba kembali sampai data sesuai dengan kondisi tanah. Proses pengambilan data dilakukan dengan menancapkan ketiga sensor kepada masing-masing jenis tanah. Data yang telah diperoleh kemudian dianalisis menggunakan ANOVA satu arah agar didapatkan hasil kesimpulan hipotesis.

B. Skema rangkaian

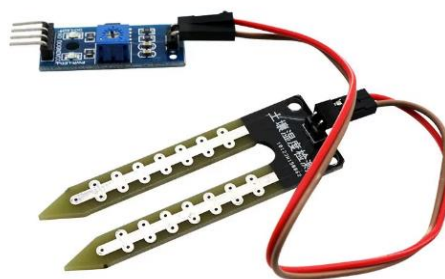
Skema rangkaian terdiri dari tiga sensor kelembapan tanah yang berfungsi sebagai input. Kemudian data yang diperoleh dikirim ke ESP32 untuk diproses. Hasil pengolahan data ditampilkan pada LCD *Liquid Crystal* I2C 20x4 agar dapat dipantau secara langsung. Sementara data yang ditampilkan di LCD dicatat dan dimasukkan ke dalam tabel secara manual untuk dilakukan analisis. Rangkaian ini menggunakan ESP32 sebagai pusat pemrosesan data dan terhubung dengan sensor kelembapan tanah melalui pin analog untuk membaca tingkat kelembapan. LCD I2C digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran dengan koneksi sederhana melalui dua pin komunikasi, yaitu SDA dan SCL, sehingga menghemat penggunaan pin pada ESP32. Kombinasi komponen ini memungkinkan sistem untuk memantau kelembapan tanah secara *real-time*, memudahkan pengguna dalam pencatatan dan analisis kondisi tanah. Berikut adalah penjelasan komponen utama dan koneksi pada rangkaian:

1. Esp32 devkit v1

ESP32 DEVKIT V1 pada mikrokontroler ESP32 menambahkan pemrosesan inti ganda, Wi-Fi, dan kemampuan Bluetooth. Papan ini dilengkapi dengan berbagai *periferal*, termasuk ADC, DAC, dan sensor internal, sehingga cocok untuk aplikasi IoT (Adrian Pramuditya et al., 2023). Papan ini dapat diberi daya oleh baterai LiPo sel tunggal atau port USB, dengan catu daya eksternal 5,2 V atau lebih tinggi yang memungkinkan penggunaan simultan dengan USB (Kim, 2020).

2. Soil moisture fc-28

Sensor kelembapan tanah FC-28 adalah perangkat yang mampu mendeteksi tingkat kelembapan di dalam tanah. Meskipun sederhana, sensor ini sangat cocok digunakan dalam memantau kelembapan tanah di kebun atau di pekarangan rumah. Alat ini terdiri dari dua probe yang berfungsi mengalirkan arus listrik melalui tanah, kemudian mengukur resistansinya untuk menentukan kadar kelembapan. Semakin banyak kandungan air dalam tanah, semakin mudah arus listrik mengalir (resistansi rendah). Sebaliknya, tanah kering memiliki resistansi yang lebih tinggi karena sulit menghantarkan listrik. Dengan kemampuan ini, sensor ini sangat berguna untuk membantu memantau kelembapan tanah atau memberi peringatan jika tanaman membutuhkan air (Candra & Maulana, 2019). Prinsip kerja moisture sensor adalah mendeteksi tingkat kelembapan tanah. Sensor ini ditanam di tanah dan mengukur kelembapan berdasarkan parameter yang telah disetel. Ketika tingkat kelembapan sesuai dengan parameter tersebut, sistem akan memberikan respons sesuai yang diinginkan (Husdi, 2018).



Gambar 2. Soil Moisture FC-28

3. Capacitive soil moisture sensor

Sensor kelembapan tanah kapasitif mendeteksi kelembapan tanah dengan menggunakan dua probe untuk mengukur resistansi tanah. Tanah basah memiliki hambatan rendah, sedangkan tanah kering memiliki hambatan tinggi. Sensor ini menghasilkan tegangan analog yang diubah menjadi tegangan digital oleh mikrokontroler. Sensor ini murah dan efektif untuk aplikasi monitoring tanah (Hardiwiguna & Ramdhani Nugraha, 2024).



Gambar 3. *Capacitive Soil Moisture Sensor*

4. Soil moisture hygrometer module sensor

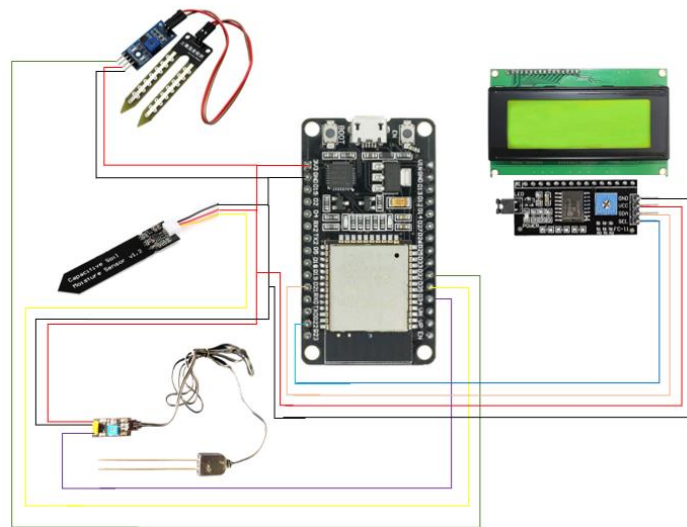
Sensor ini dilengkapi dengan dua probe panjang berbentuk garpu yang dirancang untuk meningkatkan kontak dengan tanah, sehingga akurasi pengukuran kelembapan menjadi lebih optimal. Selain itu, probe pada sensor ini memiliki lapisan anti karat, sehingga lebih tahan lama dan dapat digunakan dalam berbagai kondisi lingkungan tanpa mengalami kerusakan akibat korosi (Meilianto et al., 2022).



Gambar 4. *Soil Moisture Hygrometer Module Sensor*

5. LCD Liquid Crystal I2C

I2C LCD adalah modul LCD yang berkomunikasi secara serial menggunakan protokol I2C/IIC (*Inter-Integrated Circuit*) atau TWI (*Two-Wire Interface*). Biasanya, LCD dikendalikan melalui jalur paralel untuk mengatur data dan kontrol, tetapi metode ini membutuhkan banyak pin dari mikrokontroler seperti Arduino atau komputer. Dalam konfigurasi paralel diperlukan 6 hingga 7 pin untuk mengoperasikan LCD. Mikrokontroler harus menangani banyak perangkat lain maka mikrokontroler menjadi kurang efisien. Oleh karena itu, penggunaan I2C menjadi solusi yang lebih praktis karena hanya memerlukan dua pin (SDA dan SCL), sehingga menghemat sumber daya dan menyederhanakan rangkaian (Suryantoro, 2019).

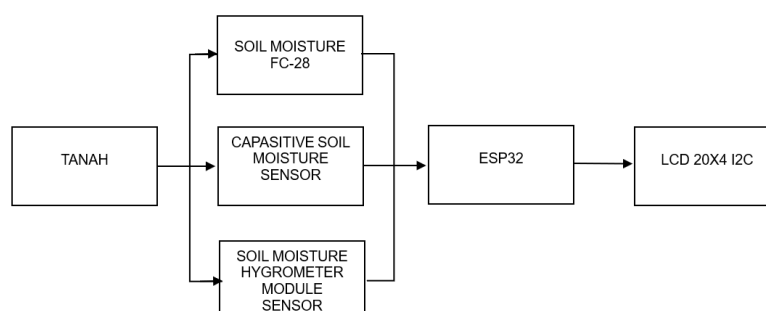


Gambar 5. Skema Rangkaian

Diagram Blok

Diagram blok menjelaskan sistem pemantauan kelembapan tanah berbasis ESP32 yang menampilkan hasil pengukuran pada layar LCD 20x4 I2C. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu tanah sebagai medium yang diukur, tiga jenis sensor kelembapan tanah, mikrokontroler ESP32, dan LCD 20x4 I2C untuk tampilan data. Tanah adalah objek utama yang menjadi sumber data pengukuran kelembapan yang dideteksi oleh tiga jenis sensor, yakni *Soil Moisture FC-28*, *Capacitive Soil Moisture Sensor*, dan *Soil Moisture Hygrometer Module Sensor*. Sensor-sensor ini bekerja dengan prinsip yang berbeda, seperti deteksi *resistif* untuk FC-28, deteksi *kapasitif* untuk *sensor kapasitif*, dan *modul hygrometer* untuk pengukuran kelembapan yang lebih terintegrasi.

Data dari sensor diteruskan ke ESP32, yang berfungsi sebagai pusat pemrosesan. ESP32 membaca sinyal dari sensor dan mengolahnya menjadi nilai yang merepresentasikan tingkat kelembapan tanah, dan mengirimkan data ini ke layar LCD. Komunikasi antara ESP32 dan LCD menggunakan protokol I2C memungkinkan koneksi yang sederhana dan hemat pin. Hasil pengolahan ditampilkan dalam bentuk persentase atau indikator status kelembapan tanah dalam keadaan kering, cukup lembap, atau terlalu basah.



Gambar 6. Diagram Blok

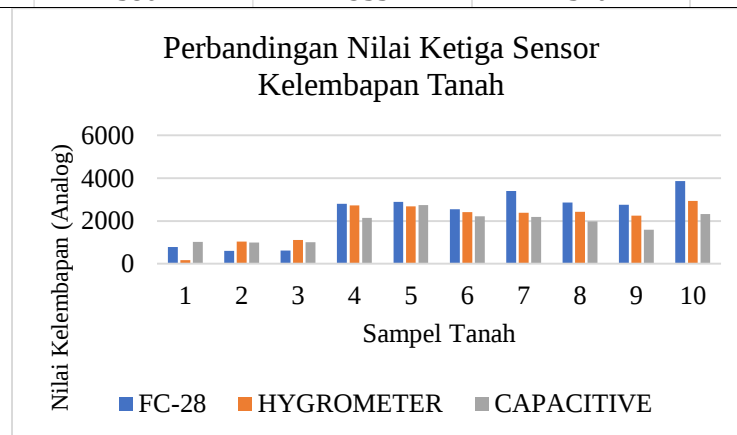
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perolehan data

Hasil pengukuran kelembapan tanah pada berbagai sampel dapat dilihat pada Tabel 1 dan gambar 7. Gambar 7 menampilkan perbandingan nilai ketiga sensor kelembapan tanah, yaitu *sensor FC-28*, *Hygrometer*, dan *Capacitive* sehingga dapat dilakukan analisis lebih mendalam terhadap performa masing-masing sensor dalam kondisi tertentu.

Tabel 1. Hasil Perolehan Data

SAMPEL	FC-28	HYGROMETER	CAPACITIVE	PH
TANAH 1	784	171	1021	5.2
TANAH 2	605	1031	999	4.6
TANAH 3	615	1105	1008	4.5
TANAH 4	2796	2720	2139	7
TANAH 5	2885	2677	2736	7
TANAH 6	2545	2405	2224	7
TANAH 7	3403	2377	2193	7
TANAH 8	2863	2422	1986	6.9
TANAH 9	2749	2243	1586	6.6
TANAH 10	3861	2933	2320	7



Gambar 7. Grafik Perbandingan Ketiga Sensor

Berdasarkan Gambar 4. Grafik perbandingan dari nilai yang dihasilkan oleh ketiga sensor kelembapan tanah memiliki perbandingan yang *fluktuatif* dan berbeda beda pada setiap sampel tanah yang diuji. Pada Sensor *FC-28* memberikan hasil nilai data kelembapan paling tinggi dibandingkan dengan kedua sensor lainnya untuk hampir keseluruhan sampel tanah. Nilai kelembapan yang diperoleh dari sensor *FC-28* memiliki kelembapan tertinggi 3861 untuk sampel Tanah 10 dan nilai terendah terletak untuk sampel tanah 2 dengan nilai kelembapan 605. Pada sensor *Hygrometer* memiliki rentang nilai keseluruhan yang berada lebih rendah daripada sensor *FC-28* dan *Capacitive* dengan nilai tertinggi 2933 untuk sampel Tanah 10 dan nilai terendah 171 untuk sampel Tanah 1. Selanjutnya, pada sensor *Capacitive*, memiliki

rentang nilai kelembapan lebih stabil dibanding kedua sensor lainnya. Nilai tertinggi yang dibaca oleh sensor *Capacitive* adalah 2736 untuk sampel Tanah 5 dan nilai terendah bernilai 999 untuk sampel Tanah 2.

Pada Sampel Tanah 1, 2, dan 3 terdapat perbedaan nilai kelembapan yang signifikan antara sensor *Capacitive*, sensor *Hygrometer* dan sensor FC-28. Dimana sensor *Hygrometer* memberikan data yang lebih rendah daripada kedua sensor lainnya. Ketiga sensor memiliki pola yang sama dimulai pada pengukuran untuk sampel Tanah 4 hingga ke 10. Ketiga sensor memiliki nilai kelembapan yang berbeda dikarenakan terdapatnya konsistensi untuk tren kelembapan secara keseluruhan pada sensor terlepas dari adanya variasi dalam skala pengukuran. Cara kerja ketiga sensor berbeda dalam pembacaan setiap sensor. Sensor FC-28 bekerja dengan prinsip resistif, yang berarti bahwa hasil pembacaannya dipengaruhi oleh konduktivitas tanah, atau seberapa basah tanahnya maka hasil pembacaan akan semakin tinggi. Pada sensor *Hygrometer* menggunakan prinsip kapasitif sehingga bergantung pada komposisi mineral dan organik dari tanah, membuatnya memiliki pembacaan sensor yang lebih rendah. Pada sensor *Capacitive*, meskipun juga menggunakan kapasitif tetapi sensor ini memberikan hasil yang lebih stabil dibandingkan *Hygrometer* dan bahkan FC-28.

B. Anova satu arah

ANOVA satu arah digunakan untuk mengidentifikasi perbedaan yang signifikan secara statistik di antara rata-rata pengukuran sensor kelembapan tanah. Analisis ini dilakukan dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha=0,05$) dan memerlukan data perlakuan serta replikasi (Kusuma et al., 2023). Dalam penelitian ini, ANOVA satu arah diterapkan untuk menguji hipotesis nol yang menyatakan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara setiap nilai yang terdeteksi oleh sensor kelembapan tanah. Anova satu arah digunakan untuk mengetahui dan membuktikan perbedaan yang signifikan antara ketiga sensor yang diuji dengan membandingkan perbedaan nilai antar sensor dengan perbedaan nilai dalam sensor, sehingga dapat diambil kesimpulan untuk menentukan hipotesa yang diperoleh.

Tabel 2. Hasil Anova Satu Arah

Source of Variation	SS	df	MS	F	F crit
Perlakuan	1219603.47	2	609801.7	0.690289	3.354131
Error	23851820.4	27	883400.8		
Total	25071423.9	29			

Berdasarkan hasil analisis ANOVA satu arah diperoleh bahwa hasil dari hasil uji F memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai kritis (*F-crit*). Oleh karena itu dapat diambil kesimpulan bahwa H_0 gagal ditolak atau lain H_0 diterima yang berarti dapat

dikatakan bahwa tidak adanya perbedaan signifikan diantara ketiga sensor, menandakan bahwa kinerja dari ketiga sensor memberikan hasil yang tidak berbeda.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini membandingkan tiga jenis sensor kelembaban tanah yaitu *Soil Moisture FC-28*, *Capacitive Soil Moisture Sensor*, dan *Soil Moisture Hygrometer Module Sensor*. Setiap sensor menunjukkan karakteristik yang berbeda dalam mengukur tingkat kelembaban tanah. Sensor FC-28 menunjukkan pembacaan kelembaban tertinggi, sedangkan sensor hygrometer memberikan pembacaan terendah, dan sensor kapasitif menawarkan hasil yang stabil di berbagai kondisi. Dengan melakukan uji analisis ANOVA satu arah tidak ada perbedaan yang signifikan dalam hasil pengukuran di antara ketiga sensor tersebut. Meskipun ketiga sensor memiliki karakteristik yang berbeda namun secara keseluruhan memiliki efektivitas dalam pemantauan kelembaban tanah dalam kondisi tertentu.

DAFTAR REFERENSI

- Adrian Pramuditya, I. M., Raka Agung, I. G. A. P., & Rahardjo, P. (2023). Rancang bangun alat uji periferan ESP32 DEVKIT V1 - DOIT 30 pin. *Jurnal SPEKTRUM*, 10(4), 340. <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2023.v10.i04.p39>
- Amri Gunasti, Kia Candra K., Tiara Puspita S., Andi Batara R. A., & Veri Ardiansyah. (2024). Perbandingan arus kepadatan jalan pada Jalan Mastrip (One Way-ANOVA). *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, 8(1), 74–80. <https://doi.org/10.31289/jcebt.v8i1.10978>
- Arafat, A., Ratna, S., Wagino, W., & Ibrahim, I. (2021). Perancangan dan pengujian alat untuk monitoring kelembaban tanah dan pemberian pupuk cair pada tanaman cabai berbasis Internet of Things. *Technologia: Jurnal Ilmiah*, 12(4), 286. <https://doi.org/10.31602/tji.v12i4.5639>
- Ardiyallah Akbar. (2023). Implementasi Internet of Things untuk monitoring kelembaban tanah menggunakan mikrokontroler. *Jurnal Kecerdasan Buatan dan Teknologi Informasi*, 2(2), 91–97. <https://doi.org/10.69916/jkbt.v2i2.32>
- Ariawan, A. (2024). Smart Sprout: Irigasi cerdas berbasis AIoT untuk pertanian modern dan ramah lingkungan. *bit-Tech*, 7(2), 434–444. <https://doi.org/10.32877/bt.v7i2.1841>
- Candra, J. E., & Maulana, A. (2019). Penerapan soil moisture sensor untuk desain sistem penyiram tanaman otomatis. *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Sosial dan Teknologi*, 2, 109–114.
- Daniel, L. E. P., Mahmudin, A., & Auliasari, K. (2020). Penerapan IoT (Internet of Thing) terhadap sistem pendeteksi kesuburan tanah pada lahan perkebunan. *JATI (Jurnal*

Mahasiswa Teknik Informatika), 4(2), 207–213.
<https://doi.org/10.36040/jati.v4i2.2678>

Faroh Ladayya, Dian Handayani, Devi Eka Wardani Meganingtyas, Ishmah Azzah Kameela, Adine Ihsan Kamil, & Zikri Muhammad Madani. (2023). Pelatihan analisis One-Way Anova dalam rangka peningkatan kualitas penelitian guru di wilayah Kabupaten Kepulauan Seribu. *Mitra Teras: Jurnal Terapan Pengabdian Masyarakat*, 2(2), 32–41. <https://doi.org/10.58797/teras.0202.03>

Hardiwiguna, A., & Ramdhani Nugraha, A. (2024). Penentuan kelembaban tanah menggunakan metode fuzzy logic dengan capacitive soil moisture sensor dan Arduino Uno R3. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3S1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.5425>

Husdi, H. (2018). Monitoring kelembaban tanah pertanian menggunakan soil moisture sensor FC-28 dan Arduino Uno. *ILKOM Jurnal Ilmiah*, 10(2), 237–243. <https://doi.org/10.33096/ilkom.v10i2.315.237-243>

Kim, J. (2020). Analysis and optimization of DC supply range for the ESP32 development board. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.12798410>

Kusuma, H. A., Oktavia, D., Nugaraha, S., Suhendra, T., & Refly, S. (2023). Sensor BMP280 statistical analysis for barometric pressure acquisition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1148(1), 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1148/1/012008>

Mahfud, F. (2023). Sistem monitoring kelembaban tanah dengan sensor soil moisture berbasis Internet of Things. *Jurnal Informatika Polinema*, 10(1). <https://doi.org/10.33795/jip.v10i1.1536>

Mardiyati, E. N., Dewi, T., & Oktarina, Y. (2024). Analisa prediksi tegangan input sensor capacitive soil moisture dengan Random Forest untuk mendukung pertanian pintar. *Journal of Applied Smart Electrical Network and Systems*, 4(2), 47–53. <https://doi.org/10.52158/jasens.v4i2.787>

Meilianto, W. D., Indrasari, W., & Budi, E. (2022). Karakterisasi sensor suhu dan kelembaban tanah untuk aplikasi sistem pengukuran kualitas tanah. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2022*, X, 117–122. <https://doi.org/10.21009/03.SNF2022>

Milanes-Baños, N. A. (2024). Step-by-step one-way ANOVA analysis with the Jamovi program. *Mexican Journal of Medical Research ICSA*, 12(23), 22–26. <https://doi.org/10.29057/mjmr.v12i23.10664>

Nanda, A. P., Jeprianto, J., & Mahdi, M. I. (2024). Sistem otomatis penyiraman tanaman berbasis sensor kelembaban tanah untuk peningkatan produktivitas pertanian. *Technologia: Jurnal Ilmiah*, 15(4), 764. <https://doi.org/10.31602/tji.v15i4.16300>

Radi, M., Murtiningrum, Ngadisih, Muzdrikah, F. S., Nuha, M. S., & Rizqi, F. A. (2018). Calibration of capacitive soil moisture sensor (SKU:SEN0193). In 2018 4th

International Conference on Science and Technology (ICST) (pp. 1–6).
<https://doi.org/10.1109/ICSTC.2018.8528624>

- Sulthoni, M. A., & Wicaksono, N. A. (2020). Studi geometri probe untuk sensor kelembapan tanah dengan metode Time Domain Reflectometry. *Transmisi*, 22(1), 15–21. <https://doi.org/10.14710/transmisi.22.1.15-21>
- Suryantoro, H. (2019). Prototype sistem monitoring level air berbasis LabVIEW dan Arduino sebagai sarana pendukung praktikum instrumentasi sistem kendali. *Indonesian Journal of Laboratory*, 1(3), 20. <https://doi.org/10.22146/ijl.v1i3.48718>