

Evaluasi Kinerja Sensor FC-28 Untuk Monitoring Kelembapan Tanah Tanaman Indoor Menggunakan Confusion Matrix

Herva Emilda Sari*

Fakultas Ilmu Komputer, program Studi Informatika, Universitas Ichsan Satya, Tangerang Selatan, Indonesia

Email: herve_emilda_sari@universitasichsansatya.ac.id

Email Penulis Korespondensi: herve_emilda_sari@universitasichsansatya.ac.id

Submitted: 12/05/2026; Accepted: 22/06/2026; Published: 23/06/2026

Abstrak—Peran teknologi mampu mengatasi tantangan sulit menjadi proses yang lebih mudah, contohnya dalam hal monitoring kelembapan tanah pada tanaman *indoor*. Faktor paling penting dalam merawat tanaman *indoor* adalah kelembapan tanah, karena merupakan faktor keberlangsungan hidup tanaman tersebut. Pemilik tanaman *indoor* memiliki kesulitan, yaitu mengetahui kelembapan air di dalam tanah miliknya. Sehingga hal ini memerlukan alat bantu sederhana, yang mudah digunakan untuk mengukur kelembapan tanah khususnya pada tanaman *indoor*. Perangkat pendeteksi kekeringan *soil moisture sensor* FC-28 dirancang sederhana dan mudah digunakan. Bekerja sebagai pendeteksi, dengan lampu LED sebagai indikator kelembapan tanah. Alat ini bekerja dengan membaca kadar dari ambang batas komparator sensor, apabila kelembapan tanah kurang dari ambang batas komparator, maka lampu indikator LED akan menyala dan memberikan informasi kepada pemilik tanaman bahwa tanah pada tanamannya kering. Sebaliknya apabila kelembapan tanah terdeteksi tidak turun dari ambang batas komparator, maka lampu indikator LED akan tetap mati sehingga pemilik tanaman mendapatkan informasi bahwa keadaan tanah lembap. Penelitian alat ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja dari sensor FC-28, dalam mendeteksi kondisi kelembapan tanah pada tanaman *indoor*. Metode penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen dengan melakukan pengujian pada kondisi tanah kering dan basah. Hasil pengujian sensor dibandingkan dengan kondisi aktual (*ground truth*) menggunakan metode *Confusion Matrix* untuk memperoleh nilai akurasi, sensitivitas, spesifisitas, dan tingkat kesalahan (*error rate*) dari sensor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor FC-28 mampu membedakan kondisi tanah kering dan basah secara konsisten sesuai dengan kondisi aktual pada skenario pengujian yang dilakukan. Penelitian ini berkontribusi dalam menyediakan evaluasi kuantitatif kinerja sensor FC-28 menggunakan pendekatan *Confusion Matrix* melalui parameter *accuracy*, *sensitivity*, *specificity*, dan *error rate* pada aplikasi monitoring kelembapan tanah tanaman *indoor*. Evaluasi kinerja sensor FC-28 menunjukkan kesesuaian antara hasil deteksi sensor dan kondisi aktual pada lingkup pengujian terbatas. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa sensor FC-28 dapat dimanfaatkan sebagai alat monitoring kelembapan tanah sederhana pada tanaman *indoor* dalam kondisi lingkungan terkontrol.

Kata Kunci: Sensor FC-28; Kelembapan Tanah; Monitoring Tanaman Indoor; Confusion Matrix; Evaluasi Sensor

Abstract—Technology plays an important role in transforming complex challenges into simpler and more practical processes, including soil moisture monitoring for indoor plants. Soil moisture is one of the most critical factors affecting the survival and growth of indoor plants. However, indoor plant owners often face difficulties in determining the moisture condition of the soil, creating the need for a simple and easy-to-use tool for monitoring soil moisture. The FC-28 soil moisture sensor is designed as a simple drought detection device equipped with an LED indicator to provide information regarding soil moisture conditions. The sensor operates by comparing the detected moisture level with a predefined comparator threshold. When the soil moisture falls below the threshold, the LED indicator turns on, indicating that the soil is dry. Conversely, when the moisture level remains above the threshold, the LED stays off, indicating that the soil is sufficiently moist. This study aims to evaluate the performance of the FC-28 sensor in detecting soil moisture conditions in indoor plants. An experimental approach was employed by conducting tests under dry and wet soil conditions. The sensor detection results were compared with the actual soil conditions (*ground truth*) using the Confusion Matrix method to obtain accuracy, sensitivity, specificity, and error rate values. The results indicate that the FC-28 sensor can consistently distinguish between dry and wet soil conditions in accordance with the actual conditions observed during the testing scenarios. This study contributes by providing a quantitative performance evaluation of the FC-28 sensor using the Confusion Matrix approach through accuracy, sensitivity, specificity, and error rate parameters for indoor soil moisture monitoring applications. The evaluation results demonstrate a high level of agreement between the sensor outputs and the actual soil conditions within the limited testing scope. These findings suggest that the FC-28 sensor can be utilized as a simple and cost-effective soil moisture monitoring tool for indoor plants under controlled environmental conditions.

Keywords: FC-28 Sensor; Soil Moisture; Indoor Plant Monitoring; Confusion Matrix; Sensor Evaluation

1. PENDAHULUAN

Dari banyaknya cara merawat tanaman hias di dalam ruangan yang jarang diperhatikan adalah, cara memonitoring kecukupan siklus pemberian air pada tanaman [1]. Ada banyak cara mulai dari cara tradisional, hingga penerapan teknologi dalam teknik menjaga tanaman yang ditanam di dalam ruangan dapat termonitoring kelembapan tanahnya [2]. Penyiraman tanaman, merupakan salah satu faktor utama terhadap pertumbuhan tanaman. Kelembapan tanah juga merupakan hal penting bagi kehidupan tanaman, dimana tanaman mendapatkan pasokan air dari akar dalam tanah yang cukup untuk keberlangsungan hidup tanaman tersebut [3]. Tidak semua tanaman bisa ditanam di dalam ruangan, ada beberapa jenis tanaman mampu hidup di dalam ruangan yang tidak terpapar cahaya matahari secara langsung dan tersiram air hujan. Tanaman tersebut bisa hidup di dalam ruangan, dengan mendapatkan cahaya yang masuk dari jendela atau ventilasi udara dengan sirkulasi udara yang baik. Serta sistem penyiraman yang tidak dilakukan setiap hari, karena tanaman berada di dalam ruangan dan tidak terpapar panas cahaya matahari secara langsung. Biasanya, ada beberapa jenis tanaman yang cocok di tanam di area *indoor*.

Tanaman yang ditanam di area *indoor* sering kali tidak memerlukan penyiraman setiap hari, hal ini dikarenakan kelembapan tanahnya yang terjaga karena berada di area dalam ruangan. Pengelolaan kelembapan tanah yang tepat sangat diperlukan untuk mengoptimalkan penggunaan air, dan mencegah kekeringan [4]. Penyiraman merupakan suatu hal yang tidak dapat dilepaskan di dalam merawat tanaman agar tanaman tetap tumbuh dengan subur. Kebutuhan air yang cukup, sangat mempengaruhi tingkat pertumbuhan tanaman.

Ada banyak tipe pemilik tanaman di dalam ruangan, mayoritas merupakan orang – orang yang berasal dari banyak kalangan seperti pekerja purna waktu, bahkan seorang ibu rumah tangga yang juga menginginkan kesan hijau di dalam rumahnya. Kelembapan tanah pada tanaman hias yang ditanam di dalam ruangan, sering tidak termonitoring keadaan tanahnya. Terlebih lagi, tanaman tersebut ditempatkan ditempat yang teduh yaitu di dalam ruangan. Hal ini membuat tanaman hias tersebut tidak perlu di siram setiap hari, namun terkadang kesibukan pemilik tanaman hias yang ditanam di dalam ruangan sering lupa dan tidak sadar terhadap kondisi kecukupan air tanamannya. Bahkan tidak jarang, pemilik tanaman tidak menyadari bahwa tanah pada tanamannya sudah kering. Efeknya perawatan pada tanaman tidak optimal, pertumbuhan tanaman jadi terganggu, hingga tanaman menjadi layu atau bahkan mati.

Penggunaan alat pendeteksi kelembapan tanah pada tanaman di dalam ruangan, dapat membantu pemilik tanaman mengetahui kondisi air pada tanah tanamannya [5]. Desain *soil moisture sensor* dirancang dengan sistem kerja sederhana, yaitu di tancapkan di tanah pada tanaman tersebut. Sensor yang ditancapkan kedalam tanah bekerja dengan mengukur kelembapan tanah menggunakan kadar ambang batas dari *soil moisture sensor*, yaitu sensor yang digunakan untuk memantau kadar kelembapan air pada tanah [6]. Lalu memberikan hasil *output* pada lampu indikator LED yang terdapat di depan alat tersebut. Jika lampu indikator menyala, itu menandakan bahwa kelembapan air di dalam tanah pada tanaman kurang. Namun jika lampu indikator mati, menandakan keadaan kelembapan air pada tanah aman dan baik. Maka dari itu, penggunaan sensor ini dapat membantu pemilik tanaman dalam memantau kondisi kelembapan tanah secara sederhana melalui indikator visual yang terdapat pada alat tersebut.

Alat pendeteksi kelembapan tanah ini di desain ramping dan ringkas, mirip dengan model *bolpoint* yang ditancapkan kedalam tanah. Penggunaan alat yang di tancapkan didekat tanaman, bekerja sebagai sensor dan indikator bagi pemilik tanaman. Cara bekerjanya yang simpel dan akurat serta berada didekat tanaman, membuat pemilik tanaman *indoor* tidak terganggu dengan keberadaannya. Bahkan detektor LED nya, mampu membantu pemilik tanaman mengetahui apakah kondisi tanamannya tercukupi air, atau malah kekeringan. Sebelum pemilik tanaman menemukan tanamannya yang layu karena lupa menyiram, alat ini seperti memberikan kabar kepada pemilik tanaman terhadap kondisi kelembapan tanah tanamannya di dalam ruangan. Sehingga pemilik tanaman dapat mengevaluasi, manfaat dari alat pendeteksi kelembapan tanah ini.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sensor kelembapan tanah (*soil moisture sensor*) FC-28 dalam mendeteksi kondisi tanah kering dan basah pada tanaman *indoor*, menggunakan metode *Confusion Matrix* [7]. Hasil dari penelitian ini, diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai tingkat akurasi sensor sebagai alat monitoring kelembapan tanah sederhana pada lingkungan *indoor*.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang berfokus pada sistem otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) atau algoritma cerdas, yang sebagian besar penelitian tersebut menggunakan sensor dengan spesifikasi menengah hingga tinggi [8], [9] Penelitian ini menitikberatkan pada evaluasi kinerja sensor kelembapan tanah, dengan biaya rendah [10], [11](FC-28) dalam *scenario* penggunaan alat pada tanaman *indoor* menggunakan pendekatan *Confusion Matrix* [12]. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi respon sensor FC-28 terhadap variasi kondisi kelembapan media tanam serta kelayakan sebagai solusi monitoring sederhana pada tanaman hias dalam ruangan [13]. Kontribusi penelitian ini terletak pada penyediaan evaluasi kinerja sensor FC-28 secara kuantitatif menggunakan metode *Confusion Matrix* melalui pengukuran *accuracy*, *sensitivity*, *specificity*, dan *error rate* pada lingkungan *indoor*. Selain itu, penelitian ini memberikan bukti empiris mengenai potensi penggunaan sensor FC-28 sebagai solusi monitoring kelembapan tanah berbiaya rendah yang mudah diterapkan oleh pengguna tanaman *indoor* tanpa memerlukan sistem otomatisasi yang kompleks.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Berdasarkan judul penelitian, metode yang digunakan adalah eksperimen dengan tujuan mengevaluasi kinerja sensor kelembapan tanah FC-28 dalam mendeteksi kondisi tanah kering dan basah pada tanaman *indoor*. Rancangan penelitian ini di fokuskan pada pengujian kemampuan sensor dalam melakukan klasifikasi kondisi kelembapan tanah berdasarkan ambang batas komparator sensor, kemudian dievaluasi menggunakan pendekatan *Confusion Matrix*. Alur eksperimen dilakukan dengan memonitoring kondisi kelembapan tanah pada tanaman *indoor*, kemudian membandingkan hasil deteksi sensor dengan kondisi aktual tanah (*ground truth*) [14]. Berikut tahapan dari penelitian:

a. *Research Design*

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mengevaluasi kemampuan sensor FC-28 dalam mendeteksi kondisi kelembapan tanah pada tanaman *indoor*. Evaluasi dilakukan menggunakan pendekatan *confusion matrix* untuk mengetahui tingkat akurasi klasifikasi sensor berdasarkan kesesuaian antara hasil deteksi sensor dan kondisi aktual tanah (*ground truth*).

b. *Object and Location*



Objek penelitian yaitu tanaman yang ditanam di dalam ruangan, dengan kondisi tanpa paparan cahaya matahari secara langsung dan air hujan. Lingkungan ini dipilih untuk simulasi kondisi nyata, tanaman hias dalam ruangan.

c. *Tools and Materials*

Desain alat ini menggunakan beberapa komponen elektronika yaitu soil moisture sensor FC-28, LED sebagai indikator, tanaman yang ditanam di pot di dalam ruangan, dan air sebagai bahan baku utama untuk sensor pendeteksi [15].

d. *Variables*

Variable bebas yang ditentukan dari nilai kondisi kelembapan tanah tanaman indoor, menggunakan ambang batas komparator di dalam sensor dengan dua kategori yaitu lembap (disiram) atau kering (tidak/belum disiram) [16]. Kondisi ini digunakan sebagai ground truth dalam pengujian pada variable terikat yaitu output sensor FC-28 yang mengklasifikasikan kondisi menjadi dua yaitu kering atau lembap berdasarkan ambang batas komparator sensor. Kemudian output nya berupa indikator LED yang menyala saat kekeringan terdeteksi di ambang batas komparator. Variable terikat berupa output sensor FC-28 yang ditunjukkan melalui indikator LED, di mana LED menyala menandakan kondisi tanah terdeteksi kering dan LED mati menandakan kondisi tanah basah, sesuai dengan ambang batas komparator sensor.

e. *Experimental Procedure*

Prosedur eksperimen dilakukan dengan memberikan dua variasi kondisi yang diterapkan pada alat, yaitu kondisi kering dan basah. Setiap kondisi diuji dengan menancapkan sensor kedalam tanah, kemudian diamati *output response* berupa indikator LED. Selanjutnya, nilai output sensor diamati berdasarkan status indikator LED (menyala atau mati). Setiap kondisi diuji secara berulang untuk memastikan konsistensi hasil deteksi sensor.

f. *Data Collection*

Hasil deteksi sensor FC-28 pada *Indicator LED*, menjadi data nilai yang dikumpulkan sebagai hasil *output* pengujian sensor. Hasil data ini kemudian dicatat dan dikelompokkan berdasarkan kesesuaian antara hasil deteksi sensor dan kondisi aktual pada tanah.

g. *Data Analysis Method*

Data hasil pengujian dianalisis menggunakan metode *Confusion Matrix*, untuk mengevaluasi kinerja sensor FC-28 dalam mendeteksi kondisi kelembapan tanah pada tanaman *indoor*. Hasil deteksi sensor dibandingkan dengan kondisi aktual (*ground truth*), yang terdiri atas kondisi tanah kering dan tanah basah. Parameter yang digunakan meliputi *accuracy*, *sensitivity*, *specificity*, dan *error rate*. *Accuracy* digunakan untuk mengukur seberapa tingkat ketepatan sensor, dalam melakukan klasifikasi pada kondisi tanah tanaman *indoor* [17]. *Sensitivity* digunakan untuk mengukur kemampuan sensor, dalam mendeteksi kondisi tanah tanaman *indoor* kering secara benar. *Specificity* digunakan untuk mengukur kemampuan sensor, dalam mengenali kondisi tanah basah tanaman *indoor* secara benar. Sedangkan *error rate* digunakan untuk mengetahui, tingkat kesalahan klasifikasi yang dilakukan sensor selama proses pengujian.

2.2 Metode Penyelesaian Masalah

Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah mengetahui dan memonitoring kondisi kadar kelembapan air di dalam tanah pada tanaman pot yang ditempatkan di dalam ruangan (*indoor*). Ketidaktahuan pemilik tanaman dari kondisi kering pada tanah tanamannya, membuat pertumbuhan tanaman di dalam ruangan melambat atau bahkan layu. Sedangkan kelebihan air akibat penyiraman yang berlebihan setiap hari, juga merupakan masalah bagi beberapa jenis tanaman, karena beberapa jenis tanaman di dalam ruangan tidak memerlukan penyiraman setiap hari [18]. Oleh karena itu, perlunya suatu alat atau sistem yang mampu memberikan informasi kondisi tanah secara cepat, sederhana, dan mudah dipahami oleh pengguna.

Metode penyelesaian masalah dalam penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan sensor kelembapan tanah FC-28 sebagai alat deteksi kondisi kelembapan tanah. Sensor ini bekerja dengan mengukur nilai kelembapan dari kandungan air dan mineral pada tanah, lalu nilai yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan ambang batas komparator sensor yang telah ditentukan pada modul sensor untuk mengklasifikasikan kondisi tanah menjadi dua kategori, yaitu kondisi tanah lembap dan kering.

Pada kondisi tanah yang kering, nilai kelembapan yang terdeteksi berada di bawah ambang batas komparator, sehingga sensor akan menghasilkan *output* yang memicu LED menyala sebagai indikator bahwa tanah tanaman dalam kondisi kering dan membutuhkan penyiraman air. Namun sebaliknya, pada kondisi tanah basah, nilai kelembapan berada di atas ambang batas komparator sehingga LED tidak akan menyala, yang menunjukkan bahwa kondisi tanah masih dalam keadaan cukup air dan belum memerlukan penyiraman. Dengan demikian, sistem ini mampu memberikan informasi secara langsung kepada pengguna melalui indikator visual berupa LED yang sederhana [19].

Dalam penelitian ini, fokus utama tidak terletak pada pengembangan metode klasifikasi baru, melainkan pada evaluasi kinerja sensor dalam mendeteksi kondisi kelembapan tanah pada tanaman *indoor*. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan melalui serangkaian pengujian pada kondisi tanah kering dan basah untuk mengetahui tingkat ketepatan deteksi yang dihasilkan oleh sensor.

Tahapan penelitian meliputi identifikasi kondisi awal tanah, pemasangan sensor pada media tanam, pemberian perlakuan berupa penyiraman dan pengeringan tanah, pengamatan *output* sensor melalui indikator LED, serta pencatatan hasil pengujian. Selanjutnya, data hasil pengujian dibandingkan dengan kondisi aktual (*ground truth*) dan



dianalisis menggunakan metode *Confusion Matrix* untuk mengevaluasi kinerja sensor berdasarkan parameter *accuracy*, *sensitivity*, *specificity*, dan *error rate*.

Melalui penelitian ini, diharapkan alat pendeteksi kekeringan tanaman yang dirancang mampu menjadi solusi praktis dalam membantu pemilik tanaman dalam ruangan memonitoring kondisi kelembapan tanah pada tanamannya. Sehingga dapat mengurangi resiko kekeringan akibat lupa, dan lambatnya penyiraman tanaman. Berikut diuraikan dalam bentuk urutan tahapan-tahapan metode dalam penyelesaian masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

- a. Identifikasi permasalahan
Mengidentifikasi kesulitan dalam monitoring kelembapan tanah pada tanaman pot di dalam ruangan
- b. Perancangan alat pendeteksi kekeringan pada tahanan
Merancang alat pendeteksi kelembapan tanah menggunakan sensor FC-28, dan indikator LED sebagai *output visual*.
- c. Penentuan kondisi tanah
Menentukan kondisi tanah berdasarkan dua kategori utama, yaitu kering dan basah, sebagai *ground truth* dalam pengujian.
- d. Implementasi sensor pada media tahanan di pot
Melakukan pengujian sensor pada beberapa kondisi tanah dan mencatat hasil output berupa indikator LED.
- e. Pengumpulan data pengujian
Melakukan pencatatan hasil deteksi sensor dan mencocokkannya dengan kondisi aktual tanah pada setiap skenario pengujian.
- f. Penyusunan *Confusion Matrix*
Mengelompokkan hasil pengujian ke dalam kategori *True Positive (TP)*, *True Negative (TN)*, *False Positive (FP)*, dan *False Negative (FN)* berdasarkan kesesuaian antara hasil deteksi sensor dan kondisi aktual tanah.
- g. Perhitungan Parameter Evaluasi
Menghitung nilai *accuracy*, *sensitivity*, *specificity*, dan *error rate* berdasarkan data yang diperoleh dari *confusion matrix*.
- h. Analisis Kinerja Sensor
Menganalisis kemampuan sensor FC-28 dalam mendeteksi kondisi tanah kering dan basah berdasarkan hasil perhitungan parameter evaluasi.
- i. Evaluasi kinerja sensor
Melakukan evaluasi terhadap tingkat efektivitas sensor FC-28 sebagai alat monitoring kelembapan tanah pada tanaman *indoor* berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan [20].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Sensor Kelembapan Tanah

Evaluasi dari kinerja sensor kelembapan tanah FC-28 dimulai dengan menganalisis kemampuan deteksi sensor dalam mendeteksi kekeringan tanah pada tanaman di dalam ruangan menggunakan pendekatan klasifikasi *biner*. *System* yang beroperasi ini mengukur konduktivitas listrik di dalam tanah untuk menilai dan memperkirakan kadar kelembapan yang terdeteksi, kemudian dibagi menjadi dua kategori *output* yaitu kering dan basah. Klasifikasi ini ditentukan melalui nilai ambang batas dari komparator sensor FC-28, yang akan memicu lampu *indicator LED output* untuk pengguna.

Untuk menguji efektivitas sensor, penelitian ini menggunakan tanah tanaman pot yang berada di dalam ruangan tanpa paparan langsung dari cahaya matahari dan hujan. Variasi tanah dibagi menjadi dua kondisi utama, yaitu kering (tanpa kegiatan penyiraman) dan basah (setelah disiram). Dua kondisi ini digunakan sebagai *ground truth* sebagai evaluasi kinerja sensor dalam mengklasifikasikan kondisi kelembapan tanah yang diukur. Hasil pengujian sensor dievaluasi menggunakan metode *confusion matrix*, untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil deteksi sensor terhadap kondisi aktual tanah.

Tabel 1. Prinsip Kerja *Soil Moisture Sensor FC-28*

Proses	Deskripsi
Persiapan tanah	Sebelum menancapkan sensor ke dalam tanah, peneliti menyiapkan dua pot di dalam tanah yang sama-sama kering, yaitu pot kesatu dan pot kedua.
Pemasangan Sensor pada pot ke satu	Sensor ditancapkan pada pot ke satu dalam keadaan tahanan pot kesatu masih kering, menunjukkan alat masih menampilkan <i>indicator LED</i> menyala dari hasil deteksi sensor kelembapan dibawah ambang batas komparator FC-28.
Penyiraman pada pot ke satu	Tanah dalam pot ke satu tersebut masih tertancap di tanah dengan kondisi LED menyala, lalu di siram hingga <i>indicator LED</i> mati dengan hasil deteksi menyatakan bahwa data kelembapan di atas ambang komparator sensor.
Penyiraman bertahap pada pot ke dua	Pada pot ke dua dengan kondisi tanah yang masih kering, di siram secara bertahap sampai keadaan tanah menjadi lembap, sebelum sensor di pindah tancapkan ke pot dua.

Proses	Deskripsi
Pemasangan sensor pada pot kedua	Setelah pot ke dua bertanah lembap, alat sensor dipindahkan dari pot satu ke pot ke dua, dengan menunjukkan LED mati karena hasil deteksi kelembapan tanah dari sensor diatas ambang komparator.

Berdasarkan Tabel 1, sensor FC-28 bekerja dengan mendeteksi tingkat kelembapan tanah melalui perubahan konduktivitas listrik pada media tanam. Sebelum proses pengujian utama dilakukan, sensor diamati pada kondisi awal ketika belum ditancapkan ke dalam tanah. Pada kondisi ini, indikator LED berada dalam keadaan menyala, yang merupakan respon dari awal sensor terhadap lingkungan sekitar dan karakteristik rangkaian komparator. Kondisi ini tidak merepresentasikan kelembapan tanah namun digunakan sebagai data evaluasi kinerja sensor, melainkan hanya sebagai referensi awal (*baseline*) sebelum proses pengujian utama dilakukan. Pengujian awal dilakukan ketika sensor ditancapkan pada tanah kering di pot pertama, dan indikator LED tetap menyala yang menunjukkan kondisi tanah yang masih kering. Setelah tanah pada pot pertama disiram hingga lembap, indikator LED berubah menjadi mati yang menandakan nilai kelembapan telah melewati ambang batas komparator sensor. Kondisi yang sama juga ditunjukkan saat sensor dipindahkan ke pot kedua yang telah disiram, dimana indikator LED dalam kondisi mati karena tanah berada dalam kondisi lembap.

Data hasil pengujian, selanjutnya dibandingkan dengan kondisi aktual tanah (*ground truth*) untuk mengevaluasi kinerja klasifikasi sensor. Evaluasi dilakukan menggunakan parameter objektif seperti akurasi, sensitivitas, spesifisitas, dan *error rate*. Selain itu, hasil pembacaan sensor juga direpresentasikan kedalam bentuk *Confusion Matrix*, untuk memberikan evaluasi penelitian dari kondisi pengujian kelembapan tanah tanaman *indoor*.

3.2 Implementasi dan Pengujian Sistem

Dalam proses pengukuran, sensor FC-28 ditancapkan kedalam tanah tanaman *indoor* objek pengujian, respons *output* nya diamati berdasarkan status *indicator* LED yang menyala atau mati. Respon sensor diamati berdasarkan pada kondisi indikator LED yang menyala (*on*) atau mati (*off*). Data hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan kondisi aktual tanah (*ground truth*) dan dievaluasi menggunakan metode *Confusion Matrix* untuk mengetahui tingkat kinerja sensor dalam mendeteksi kondisi kelembapan tanah pada tanaman *indoor*.



Gambar 1. Respon LED Menyala ketika sensor berada di tanah kering



Gambar 2. Respon LED Mati ketika sensor berada di tanah lembap

3.2.1 Implementasi Sensor FC-28 pada Media Tanah Tanaman Pot

Beberapa kondisi di uji berulang kali untuk mengamati konsistensi sensor dalam membaca kondisi kelembapan yang berbeda, yaitu tanah kering dan basah. Pengujian dilakukan pada media tanah tanaman pot *indoor* dengan perulangan terbatas untuk memperoleh gambaran awal respon sensor terhadap perubahan kondisi kelembapan.

Pada kondisi awal ketika sesor FC-28 belum ditancapkan kedalam tanah pot, keluaran sensor masih menunjukkan respons tertentu yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan sekitar dan *noise sensor*. Kondisi ini tidak merepresentasikan kelembapan tanah, namun digunakan sebagai referensi awal sebelum proses pengujian utama dilakukan. Berikut proses pengujian dalam implementasi Sensor FC-28 kedalam tanah tanaman pot :

a. Persiapan : Persiapan tanah

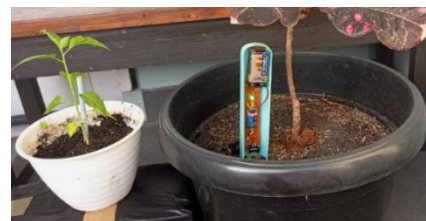
Peneliti menyiapkan dua pot tanaman hias *indoor*, yaitu pot kesatu dan pot kedua. Serta memastikan media tanah dalam kedua pot berada pada kondisi kering sebelum sensor ditancapkan kedalam tanah.



Gambar 3. Foto persiapan tanah

b. Pengujian 1 : Pemasangan Sensor pada pot ke satu

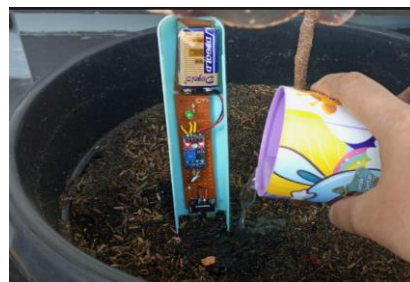
Sensor ditancapkan pada pot ke satu dalam keadaan tanah kering, menunjukkan alat masih menampilkan *indicator LED* menyala hasil deteksi sensor kelembapan tanah dibawah ambang batas komparator FC-28.



Gambar 4. Pemasangan Sensor pada pot ke satu

c. Pengujian 2 : Penyiraman pada pot ke satu

Tanah dalam pot ke satu tersebut masih tertancap ditanah dengan kondisi LED menyala, lalu di siram hingga *indicator LED* mati dengan hasil *output* deteksi menampilkan data kelembapan di atas ambang komparator sensor.



Gambar 5. Penyiraman pada pot ke satu

d. Pengujian 3 : Penyiraman pot kedua dan pemasangan sensor pada pot ke dua.

Pada pot ke dua dengan kondisi tanah yang masih kering, di siram secara bertahap sampai keadaan tanah menjadi lembap, sebelum sensor di pindah tancapkan ke pot dua. Setelah pot ke dua bertanah lembap, alat sensor dipindahkan dari pot satu ke pot ke dua, dengan menunjukkan LED mati karena hasil deteksi kelembapan tanah dari sensor diatas ambang komparator.



Gambar 6. Penyiraman dan Pemasangan sensor pada pot ke dua.

Data hasil pengujian yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai input dalam proses analisis *confusion matrix*, dengan melakukan perhitungan parameter evaluasi yaitu menghitung nilai *accuracy*, *sensitivity*, *specificity*, dan *error rate*.

Tabel 2. Hasil Pengujian

No	Kondisi Tanah (<i>Ground Truth</i>)	Output Sensor	LED	Kategori
Perulangan ke-1				
1	Pengujian 1 : sensor pada tanah kering pot kesatu	Kering	Menyala	TP
2	Pengujian 2 : tanah basah setelah penyiraman di pot kesatu	Basah	Mati	TN
3	Pengujian 3 : tanah basah pada pot kedua	Basah	Mati	TN
4	Pengujian 4 : sensor pada kondisi kering setelah diangkat dari pot kedua	Kering	Menyala	TP
Perulangan ke-2				
5	Pengujian 1 : sensor pada tanah kering pot kesatu	Kering	Menyala	TP
6	Pengujian 2 : tanah basah setelah penyiraman di pot kesatu	Basah	Mati	TN
7	Pengujian 3 : tanah basah pada pot kedua	Basah	Mati	TN
8	Pengujian 4 : sensor pada kondisi kering setelah diangkat dari pot kedua	Kering	Menyala	TP
Perulangan ke-3				
9	Pengujian 1 : sensor pada tanah kering pot kesatu	Kering	Menyala	TP
10	Pengujian 2 : tanah basah setelah penyiraman di pot kesatu	Basah	Mati	TN
11	Pengujian 3 : tanah basah pada pot kedua	Basah	Mati	TN
12	Pengujian 4 : sensor pada kondisi kering setelah diangkat dari pot kedua	Kering	Menyala	TP

Berdasarkan Tabel 2, hasil pengujian yang dilakukan sebanyak tiga kali perulangan, dari setiap data dikategorikan ke dalam komponen *Confusion Matrix* sebagai berikut :

- True Positive* (TP) : Kondisi tanah kering terdeteksi sebagai kering
- Ture Negatif* (TN) : Kondisi tanah basah terdeteksi sebagai basah
- False Positive* (FP) : Kondisi tanah basah terdeteksi sebagai kering
- False Negatif* (FN) : Kondisi tanah kering terdeteksi sebagai tanah basah

3.2.2 Evaluasi Menggunakan *Confusion Matrix*

Berdasarkan *scenario* pengujian sensor FC-28 yang dilakukan pada kondisi tanah kering dan basah, evaluasi dilakukan menggunakan pendekatan metode *Confusion Matrix* untuk mengetahui konsistensi kinerja sensor dalam mendeteksi kondisi kelembapan tanah. Nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas yang di peroleh mencerminkan evaluasi yang dilakukan dari hasil *scenario* deteksi sensor terhadap kondisi aktual tanah (*ground truth*). Berdasarkan *scenario* pengujian yang dilakukan, seluruh data pada lingkup pengujian ini terklasifikasi sesuai dengan kondisi aktual tanah.

Meskipun seluruh data pada pengujian ini terklasifikasi dengan benar, hasil evaluasi tidak dimaksudkan untuk mempresentasikan kinerja sensor secara umum, melainkan sebagai gambaran awal performa sensor FC-28 pada *scenario indoor* sederhana dengan jumlah sampe yang terbatas.

Tabel 3. Rekapitulasi *Confusion Matrix*

Kondisi Aktual	Prediksi Kering	Prediksi Basah
Kering	TP = 6	FN = 0
Basah	FP = 0	TN = 6

Berdasarkan Table 3, diperoleh nilai True Positive (TP) sebanyak 6 data dan True Negative (TN) sebanyak 6 data. Selain itu tidak ditemukan nilai *False Positive* (FP) maupun *False Negative* (FN), sehingga seluruh data pengujian berhasil diklasifikasi sesuai kondisi aktualnya. Selanjutnya, dilakukan perhitungan parameter evaluasi sebagai berikut:

- Akurasi

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100\%$$

$$Accuracy = (6+6)/(6+6+0+0) \times 100\%$$

$$Accuracy = 100\%$$

- Sensitifitas

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\%$$

$$Sensitivity = 6/(6+0) \times 100\%$$

$$Sensitivity = 100\%$$

- Spesifisitas

$$\text{Specificity} = \frac{TN}{TN+FP} \times 100\%$$

$$\text{Specificity} = 6/(6+0) \times 100\%$$

$$\text{Specificity} = 100\%$$

d. Error rate

$$\text{Error Rate} = \frac{FP+FN}{TP+TN+FP+FN} \times 100\%$$

$$\text{Error rate} = (0+0)/(6+6+0+0) \times 100\%$$

$$\text{Error rate} = 0\%$$

Berdasarkan *scenario* pengujian yang telah dilakukan, sistem menunjukkan konsistensi respon dalam membedakan kondisi tanah kering dan basah dari media tanah yang diuji. Pada nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas diperoleh cermin kecocokan hasil klasifikasi terhadap kondisi aktual pada lingkup pengujian yang terbatas.

Meskipun diseluruh data pada pengujian ini terklasifikasi dengan benar, hasil evaluasi yang dilakukan tidak bertujuan untuk merepresentasikan kinerja sensor secara umum, melainkan sebagai gambaran awal dari performa sensor FC-28 dalam *scenario indoor* sederhana dengan jumlah sampel yang masih terbatas.

3.3 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sensor kelembapan tanah FC-28 menunjukkan respon yang konsisten dalam membedakan kondisi tanah kering dan basah pada *scenario* pengujian tanaman pot di lingkungan *indoor*. Evaluasi pada penelitian ini menggunakan pendekatan metode *Confusion Matrix*, yang menunjukkan bahwa seluruh data pengujian berhasil diklasifikasikan sesuai dengan kondisi aktual pada lingkup dan *scenario* pengujian yang dilakukan. Hasil ini mengindikasikan bahwa sensor FC-28 mampu memberikan indikasi kondisi kelembapan tanah secara biner, berdasarkan ambang batas komparator yang digunakan.

Kinerja sensor FC-28 dalam mendeteksi kondisi kelembapan tanah berkaitan dengan prinsip kerja sensor, yang memanfaatkan perubahan konduktivitas listrik pada media tanah. Pada kondisi tanah kering, nilai konduktivitas relatif rendah sehingga keluaran sensor berada dibawah ambang batas, peningkatan konduktivitas yang menyebabkan keluaran sensor melewati ambang batas sehingga indikator LED tidak menyala. Mekanisme ini menunjukkan bahwa sensor bekerja sesuai dengan karakteristik dasar yang diharapkan, serta memberikan respon yang stabil selama pengujian berulang pada kondisi yang sama.

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini sejalan dengan tujuan penelitian yang telah dijelaskan pada bagian pendahuluan, yaitu mengevaluasi kinerja *soil moisture sensor* FC-28 sebagai alat bantu pemantauan kelembapan tanah sederhana pada tanaman *indoor*. Dengan menggunakan indikator visual berupa LED dan desain perangkat yang ringkas, sensor ini memungkinkan pengguna untuk memperoleh informasi awal mengenai kondisi kelembapan tanah tanpa harus melakukan pemeriksaan manual secara langsung.

Meskipun seluruh metrik evaluasi menunjukkan nilai yang tinggi pada pengujian yang dilakukan, hasil tersebut perlu dipahami dalam konteks lingkup pengujian yang terbatas. Pengujian dilakukan pada lingkungan *indoor* yang relatif terkendali, dengan jumlah sampel yang terbatas serta klasifikasi kondisi tanah yang bersifat sederhana, yaitu hanya membedakan kondisi kering dan basah. Oleh karena itu, hasil evaluasi ini lebih merepresentasikan konsistensi respon sensor terhadap perubahan kondisi kelembapan dibandingkan sebagai representasi kinerja sensor, pada kondisi lingkungan yang kompleks dan bervariasi.

Selain itu, beberapa faktor yang berpotensi memengaruhi kinerja sensor belum dievaluasi secara mendalam dalam penelitian ini, seperti variasi jenis tanah, tingkat kepadatan media tanam, kandungan mineral, serta posisi penempatan sensor. Faktor-faktor tersebut dapat memengaruhi nilai konduktivitas tanah, dan pada akhirnya berdampak pada keluaran sensor. Dengan demikian, pada kondisi penggunaan yang lebih kompleks, besar kemungkinan akan ditemukan variasi hasil deteksi yang berbeda.

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, yang umumnya mengintegrasikan sensor kelembapan tanah ke dalam sistem otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) atau mikrokontroler dengan pengolahan data yang lebih kompleks [21]. Penelitian ini, menawarkan pendekatan yang lebih sederhana dan ekonomis. Pendekatan tersebut difokuskan pada evaluasi sensor berbiaya rendah, sebagai indikator kelembapan tanah pada *scenario indoor* tertentu. Kesederhanaan sistem dan kemudahan penggunaan, menjadi keunggulan utama. Terutama bagi pengguna, yang membutuhkan solusi praktis tanpa integrasi sistem yang kompleks.

Aspek keterulangan (*repeatability*), juga menjadi salah satu indikator penting dalam evaluasi kinerja sensor. Berdasarkan pengujian berulang pada kondisi yang sama, sensor FC-28 menunjukkan keluaran yang relatif konsisten, yang mengindikasikan stabilitas respon sensor dalam lingkungan pengujian yang tidak berubah secara signifikan. Konsistensi ini penting untuk mengaplikasikan pemantauan sederhana, di mana pengguna memerlukan alat yang dapat memberikan indikasi kondisi tanah secara berulang dengan hasil yang serupa.

Namun demikian, keterbatasan penelitian ini terletak pada jumlah sampel dan variasi kondisi pengujian yang masih terbatas. Pengujian hanya dilakukan pada dua kondisi utama tanpa mempertimbangkan kondisi transisi, seperti tanah lembap. Selain itu, pengaruh faktor lingkungan lain seperti suhu udara, kelembapan udara, serta variasi media



tanam belum dianalisis. Oleh karena itu, penelitian ini selanjutnya disarankan untuk memperluas *scenario* pengujian dengan menambahkan variasi kondisi tanah yang lebih beragam serta jumlah sampel yang lebih besar, guna meningkatkan validitas dan generalisasi hasil evaluasi kinerja sensor.

Secara keseluruhan, pembahasan ini menunjukkan bahwa sensor FC-28 mampu memberikan indikasi kondisi kelembapan tanah kering dan basah secara konsisten pada *scenario* pengujian *indoor* yang terbatas. Evaluasi menggunakan metode *Confusion Matrix* memberikan gambaran awal mengenai kesesuaian hasil deteksi sensor terhadap kondisi aktual tanah, sehingga sensor FC-28 berpotensi digunakan sebagai alat monitoring kelembapan tanah sederhana pada tanaman *indoor* dalam kondisi lingkungan yang terkontrol.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan evaluasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa *soil moisture sensor* FC-28 mampu mendeteksi kelembapan tanah pada tanaman pot di lingkungan *indoor* secara konsisten pada *scenario* pengujian yang telah diterapkan. Sistem indikator LED yang digunakan berhasil memberikan informasi kondisi tanah kering dan basah, secara biner berdasarkan ambang batas komparator sensor. Evaluasi kinerja menggunakan metode *Confusion Matrix* ini menunjukkan bahwa seluruh data pengujian diklasifikasikan sesuai dengan kondisi aktual tanah, dengan nilai akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas sebesar 100% serta tingkat kesalahan 0% pada lingkup pengujian yang terbatas. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor FC-28 bekerja sesuai dengan prinsip operasionalnya, dan dapat digunakan sebagai alat monitoring kelembapan tanah sederhana pada tanaman *indoor* dalam kondisi lingkungan yang masih terkontrol. Selain mampu memberikan informasi kondisi kelembapan tanah secara langsung melalui indikator visual, penggunaan sensor FC-28 juga menawarkan kemudahan implementasi karena tidak memerlukan sistem pengolahan data yang kompleks. Karakteristik tersebut menjadikan sensor ini berpotensi digunakan sebagai solusi praktis dan ekonomis bagi pemilik tanaman *indoor* dalam melakukan pemantauan kondisi media tanam secara sederhana. Dengan ukuran perangkat yang ringkas dan cara penggunaan yang mudah, sensor dapat membantu pengguna dalam mengurangi risiko keterlambatan penyiraman akibat kurangnya informasi mengenai kondisi kelembapan tanah. Namun demikian, hasil penelitian ini masih dibatasi oleh jumlah sampel pengujian, variasi kondisi tanah, serta klasifikasi yang bersifat biner. Sehingga pengujian lebih lanjut dengan *scenario* yang lebih beragam sangat diperlukan untuk meningkatkan validitas dan generalisasi hasil penelitian ini. Kontribusi utama penelitian ini adalah memberikan evaluasi kuantitatif terhadap kinerja sensor FC-28 menggunakan pendekatan *Confusion Matrix* pada aplikasi monitoring kelembapan tanah tanaman *indoor*. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi peneliti maupun praktisi dalam memanfaatkan sensor FC-28 sebagai alternatif sensor kelembapan tanah berbiaya rendah yang sederhana dan mudah di implementasikan pada lingkungan *indoor*.

REFERENCES

- [1] O. S. Tian, G. E. Giap, Rudiyanto, M. F. Ahmad, dan R. A. Aziz, "Estimating Unsaturated Hydraulic Conductivity in Unsaturated Soil Using Soil Moisture Sensors," *International Journal of Integrated Engineering*, vol. 15, no. 1, hlm. 265–272, 2023, doi: <https://doi.org/10.30880/ijie.2023.15.01.024>.
- [2] R. J. Smythe, *Arduino Measurements in Science*. Berkeley, CA: Apress, 2022. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6781-3>.
- [3] P. Raeth dan P. Branch, "Lora Flood Messaging Applied To Remote Soil-Moisture Monitoring," *Journal of Engineering and Computer Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 17–25, doi: <https://doi.org/10.5897/JECE2022.0205>.
- [4] G. M. Berruti, M. Leone, P. Vaiano, G. V. Persiano, M. Consales, dan A. Cusano, "All-optical active sensing platform for continuous and sustainable soil water content monitoring," *Opt. Lasers Eng.*, vol. 178, hlm. 108209, Jul 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2024.108209>.
- [5] S. Chowdhury, S. Sen, dan S. Janardhanan, "Comparative Analysis and Calibration of Low Cost Resistive and Capacitive Soil Moisture Sensor," Okt 2022, [Daring]. Tersedia pada: <http://arxiv.org/abs/2210.03019>.
- [6] Y. Kojima, M. Matsuoka, T. Arika, dan T. Yoshioka, "Time Domain Transmissiometry-Based Sensor for Simultaneously Measuring Soil Water Content, Electrical Conductivity, Temperature, and Matric Potential," *Sensors*, vol. 23, no. 4, hlm. 2340, Feb 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23042340>.
- [7] K. Iriyanta, B. P. D. Putranto, dan W. Andriyani, "IoT Based Soil Moisture Monitoring And Soil Moisture Prediction Using Linear Regression (Case Study Of Vinca Plants)," *Journal of Intelligent Software Systems*, vol. 2, no. 1, hlm. 1, Jul 2023, doi: <https://doi.org/10.26798/jiss.v2i1.929>.
- [8] T. M. P. Subbiah, J. M. J, dan R. Theobard, "Optimizing Agricultural Irrigation through Real-Time Data Prediction," dalam *2024 2nd International Conference on Networking and Communications (ICNWC)*, IEEE, Apr 2024, hlm. 1–5. doi: <https://doi.org/10.1109/ICNWC60771.2024.10537511>.
- [9] A. P. Nanda, J. Jeprianto, dan M. I. Mahdi, "Sistem Otomatis Penyiraman Tanaman Berbasis Sensor Kelembapan Tanah Untuk Peningkatan Produktivitas Pertanian," *Technologia: Jurnal Ilmiah*, vol. 15, no. 4, hlm. 764, Okt 2024, doi: <https://doi.org/10.31602/tji.v15i4.16300>.
- [10] Bavitra, Leo Anaris Sakti, Dimas Saputra, Zaki Ihwan, Baharudin, dan Muhammad Abiyu Alharits, "Studi Komparasi Sensor Kelembapan Tanah Menggunakan ESP32," *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, vol. 4, no. 1, hlm. 685–691, Jun 2025, doi: <https://doi.org/10.55606/jurritek.v4i1.5292>.
- [11] G. Deshpande *dkk.*, "IoT-Based Low-Cost Soil Moisture and Soil Temperature Monitoring System." *SSRG International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, Vol. 10, no. 10, 2023, doi: <https://doi.org/10.14445/23488379/IJEEE-V10I10P108>.



- [12] I. D. Dinov, *Data Science and Predictive Analytics*. Cham: Springer International Publishing, 2023. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-17483-4>.
- [13] P. Vandôme *dkk.*, “Making technological innovations accessible to agricultural water management: Design of a low-cost wireless sensor network for drip irrigation monitoring in Tunisia,” *Smart Agricultural Technology*, vol. 4, hlm. 100227, Agu 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100227>.
- [14] B. Sener, M. U. Gudelek, A. M. Ozbayoglu, dan H. O. Unver, “A novel chatter detection method for milling using deep convolution neural networks,” *Measurement*, vol. 182, hlm. 109689, Sep 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109689>.
- [15] B. Hodges, M. L. Tagert, J. O. Paz, dan Q. Meng, “Assessing in-field soil moisture variability in the active root zone using granular matrix sensors,” *Agric. Water Manag.*, vol. 282, hlm. 108268, Mei 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108268>.
- [16] X. Zhang, G. Feng, dan X. Sun, “Advanced technologies of soil moisture monitoring in precision agriculture: A Review,” *J. Agric. Food Res.*, vol. 18, hlm. 101473, Des 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101473>.
- [17] A. J. Larner, *The 2x2 Matrix*. Cham: Springer International Publishing, 2024. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-47194-0>.
- [18] N. Effendi, W. Ramadhani, dan F. Farida, “Perancangan Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembapan Tanah Berbasis IoT,” *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, vol. 3, no. 2, hlm. 91–98, Agu 2022, doi: <https://doi.org/10.37859/coscitech.v3i2.3923>.
- [19] N. Kalbuana dan B. Kurnianto, “Desain Sistem Deteksi Asap Berbasis Sensor Mikrokontroler Sebagai Upaya Pencegahan Kebakaran,” *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 4, no. 1, hlm. 266–272, Jan 2024, doi: <https://doi.org/10.57152/malcom.v4i1.1158>.
- [20] F. Nieberding, J. A. Huisman, C. Huebner, B. Schilling, A. Weuthen, dan H. R. Bogen, “Evaluation of Three Soil Moisture Profile Sensors Using Laboratory and Field Experiments,” *Sensors*, vol. 23, no. 14, hlm. 6581, Jul 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23146581>.
- [21] A. Zancanaro, G. Cisotto, dan L. Badia, “Challenges of the Age of Information Paradigm for Metrology in Cyberphysical Ecosystems,” dalam *2022 IEEE International Workshop on Metrology for Living Environment (MetroLivEn)*, IEEE, Mei 2022, hlm. 127–131. doi: <https://doi.org/10.1109/MetroLivEnv54405.2022.9826967>.