

## Kajian Literatur : Penerapan *Internet of Things* (IoT) untuk Optimasi Manajemen Kesehatan Tanah

Albert Donatus Simamarta<sup>1\*</sup>, Vasthi Khoirun Nisa<sup>2</sup>, Rafly Maulana<sup>3</sup>,  
Najwa Parawansa<sup>4</sup>, Imelda Khairunnisa<sup>5</sup>, Yeni Budiawati<sup>6</sup>

<sup>1-6</sup>Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,  
Indonesia

Jl. Raya Palka KM 3 Sindangsari, Pabuaran, Kab. Serang, Provinsi Banten

Korespondensi penulis: [4441220002@untirta.ac.id](mailto:4441220002@untirta.ac.id)

**Abstract.** *This study aims to describe the application of Internet of Things (IoT) technology in optimizing soil health management through a systematic literature review. This research compares various IoT implementations for monitoring soil moisture, pH, and nutrients based on previous studies, and identifies differences in technological approaches, sensors used, and automation levels. The review results indicate that although IoT technology is proven effective for real-time soil condition monitoring and supporting precision agriculture, its implementation varies significantly between advanced systems with full automation developed internationally and simpler, local monitoring systems in Indonesia. The comparison shows that wireless inductive moisture sensors are superior in accuracy and corrosion resistance compared to conductive sensors. A TDS sensor-based hydroponic nutrient monitoring system demonstrated high accuracy with an average error of 4.7468% , while soil pH monitoring achieved an accuracy with a Mean Absolute Error (MAE) of 0.14. Furthermore, automated watering systems proved to reach a success rate of up to 93.75%. This review concludes that adapting low-cost wireless sensor system models has great potential for improving the efficiency of soil management in Indonesia, despite facing challenges in infrastructure and digital literacy.*

**Keywords:** *Internet of Things (IoT), Soil Health Management, Soil Sensors, Precision Agriculture, Literature Review*

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dalam optimasi manajemen kesehatan tanah melalui kajian literatur sistematis. Penelitian ini membandingkan berbagai implementasi IoT untuk monitoring kelembaban, pH, dan nutrisi tanah berdasarkan studi-studi terdahulu, serta mengidentifikasi perbedaan pendekatan teknologi, jenis sensor yang digunakan, dan tingkat otomatisasi. Hasil kajian menunjukkan bahwa meskipun teknologi IoT terbukti efektif untuk pemantauan kondisi tanah secara real-time dan mendukung pertanian presisi, implementasinya sangat bervariasi antara sistem canggih dengan otomatis penuh yang dikembangkan di luar negeri dan sistem pemantauan lokal yang lebih sederhana di Indonesia. Perbandingan menunjukkan bahwa sensor kelembaban induktif nirkabel lebih unggul dalam akurasi dan ketahanan korosi dibandingkan sensor konduktif. Sistem monitoring nutrisi hidroponik berbasis sensor TDS menunjukkan akurasi tinggi dengan rata-rata error 4,7468% , sementara monitoring pH tanah berhasil mencapai akurasi dengan Mean Absolute Error (MAE) sebesar 0,14. Adapun sistem penyiraman otomatis terbukti mencapai tingkat keberhasilan hingga 93,75%. Kajian ini menyimpulkan bahwa adaptasi model sistem sensor nirkabel berbiaya rendah memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi manajemen tanah di Indonesia, meskipun masih dihadapkan pada tantangan infrastruktur dan literasi digital.

**Kata Kunci:** Internet of Things (IoT), Manajemen Kesehatan Tanah, Sensor Tanah, Pertanian Presisi, Kajian Literatur

### 1. PENDAHULUAN

Manajemen kesehatan tanah merupakan aspek fundamental dalam keberlanjutan sistem pertanian, mengingat tanah berperan sebagai media utama pertumbuhan tanaman serta penyedia unsur hara esensial. Namun, degradasi tanah akibat penggunaan lahan yang tidak terkendali, pemupukan yang berlebihan, serta minimnya pemantauan kondisi tanah telah menyebabkan penurunan produktivitas lahan secara signifikan (Lal, 2015). Oleh karena itu,

pendekatan inovatif berbasis teknologi menjadi sangat diperlukan untuk memastikan kesehatan tanah tetap terjaga dan optimal dalam jangka panjang.

Salah satu pendekatan yang berkembang pesat dalam dekade terakhir adalah penerapan Internet of Things (IoT) dalam sektor pertanian, khususnya untuk monitoring kesehatan tanah secara real-time. Teknologi ini memungkinkan pengumpulan data secara kontinu terhadap berbagai parameter penting seperti pH tanah, kandungan nutrisi, suhu, dan tingkat kelembaban, yang menjadi indikator utama dalam menilai kondisi tanah (Dhumal *et al* 2019).<sup>2</sup> Dengan integrasi sensor, perangkat lunak, dan konektivitas jaringan, sistem IoT mampu memberikan informasi akurat yang dapat digunakan petani atau manajer pertanian untuk mengambil keputusan yang lebih tepat, cepat, dan berbasis data. Hal ini sangat penting dalam mendukung praktik pertanian presisi yang ramah lingkungan dan efisien.

Berdasarkan latar belakang tersebut, kajian literatur ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis berbagai studi terkait penerapan IoT dalam pengelolaan kesehatan tanah. Fokus utama kajian ini mencakup jenis sensor yang digunakan, parameter tanah yang dimonitor, pendekatan integrasi data, serta tantangan dan peluang implementasi teknologi IoT dalam konteks pertanian berkelanjutan. Kajian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang komprehensif serta menjadi dasar bagi pengembangan sistem monitoring tanah berbasis IoT yang lebih efektif dan aplikatif di masa mendatang.

## **2. BAHAN DAN METODE**

### **Kajian Literatur**

Penelitian dilakukan menggunakan metode *literature review* atau kajian kepustakaan dengan sumber data berupa literatur ilmiah dari publikasi jurnal nasional maupun internasional yang relevan. *Literature review* merupakan suatu penelusuran dan penelitian kepustakaan dengan cara membaca dan menelaah berbagai jurnal, buku, dan berbagai naskah terbitan lainnya yang berkaitan dengan topik penelitian untuk menghasilkan sebuah tulisan yang berkenaan dengan suatu topik atau isu tertentu (Marzali, 2016). Proses pencarian dan analisis literatur dilakukan penulis secara independen. Artikel yang dipilih merupakan artikel ilmiah yang membahas penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam optimasi sistem manajemen kesehatan tanah dengan fokus pada penggunaan sensor untuk memonitoring kelembaban, pH, dan kandungan nutrisi tanah, melalui studi eksperimen terkait sistem monitoring berbasis IoT.

Penelitian ini diawali dengan penelusuran literatur melalui dua mesin pencari ilmiah, yaitu Google Scholar dan ResearchGate, dengan menggunakan sejumlah kata kunci yang

relevan seperti “*IoT-based soil management*”, “Penerapan IoT dalam pemantauan kesehatan tanah”, “*soil mentoring*”, “IoT sensor tanah”, “IoT kelembaban tanah”, “IoT pH tanah”, “IoT nutrisi tanah”, dan “pengelolaan tanah dengan IoT”. Dari hasil penelusuran awal, ditemukan sebanyak 16 artikel ilmiah, terdiri atas 11 artikel dari Google Scholar dan 5 artikel dari ResearchGate. Proses seleksi dilakukan secara sistematis berdasarkan kriteria inklusi yang telah ditentukan, yaitu: (1) artikel secara spesifik membahas penerapan teknologi IoT dalam sistem pemantauan dan manajemen kesehatan tanah di sektor pertanian; (2) mencakup pembahasan mengenai monitoring kelembaban, pH, dan kandungan nutrisi tanah menggunakan sensor berbasis IoT; (3) diterbitkan dalam rentang waktu tahun 2015 hingga 2024; (4) ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris; dan (5) tersedia dalam format PDF dan dapat diakses secara terbuka (*open access*). Setelah melalui proses penyaringan yang mencakup peninjauan judul, abstrak, serta kesesuaian isi dengan fokus penelitian, diperoleh sebanyak 8 artikel utama yang layak untuk dianalisis lebih lanjut. Artikel-artikel yang tidak memenuhi kriteria atau tidak memiliki data teknis yang memadai dikeluarkan dari analisis.

Artikel yang terpilih kemudian dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif, dengan cara mengidentifikasi pendekatan teknologi IoT yang digunakan, jenis sensor tanah yang dimanfaatkan, parameter yang dimonitor (seperti kelembaban, pH, suhu, dan nutrisi), serta hasil dan kesimpulan dari masing-masing studi. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menyajikan perkembangan terkini penerapan teknologi digital dalam pertanian, mengidentifikasi celah (gap) penelitian yang masih ada, dan memberikan arah pengembangan teknologi di masa depan untuk mendukung sistem pertanian yang cerdas dan berkelanjutan.

### **Internet of Things (IoT)**

Teknologi Internet of Things (IoT) menggunakan koneksi internet sebagai sumber utama dalam menghubungkan berbagai peralatan secara otomatis. Menurut Effendi *et al* (2022) Teknologi Internet of Things memudahkan pengguna dalam menghubungkan mesin dan benda sehingga tidak memerlukan campur tangan manusia untuk proses interaksi antar benda.

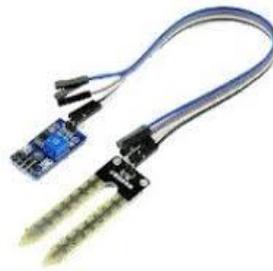
### **Soil Moisture Sensor**

Soil moisture sensor FC-28

Soil moisture sensor FC-28 berfungsi dalam mendeteksi kelembaban dalam tanah. Menurut Yahwe *et al* (2016) sensor FC-28 memiliki dua probe yang digunakan untuk mengalirkan arus listrik ke dalam tanah, kemudian alat ini mengukur resistansinya untuk menentukan tingkat kelembaban. Semakin banyak kandungan air pada tanah, semakin baik kemampuan tanah untuk menghantarkan listrik (resistansi rendah), sedangkan tanah yang

kering sulit untuk menghantarkan listrik (resistansi tinggi). Alat ini sangat berguna untuk memberikan informasi tentang kelembaban tanaman atau memantau kelembaban tanah.

Sensor kelembaban tanah FC-28 memiliki spesifikasi tegangan input antara 3.3V hingga 5V, dengan tegangan output berkisar antara 0 hingga 4.2V, serta arus sebesar 35 mA. Selain itu, sensor ini juga memiliki rentang nilai ADC (Analog to Digital Converter) sebesar 1024 bit, mulai dari 0 hingga 1023 bit. Dari pembacaan data sensor, rentang nilai yang dihasilkan berkisar antara 0 hingga 1023 bit. Tanah dianggap kering jika nilai yang terbaca pada sensor tinggi, sedangkan tanah dikategorikan lembab jika nilai yang terbaca pada sensor rendah.



Gambar 1 Soil Moisture Sensor FC-28 dari Yahwe *et al* (2016)

Soil moisture sensor YL-69

Sensor YL-69 menurut Prasetyo *et al* (2015) adalah sebuah modul yang menyertakan IC LM393, yang berfungsi sebagai pembanding untuk offset yang lebih rendah dari 5mV, dan memiliki stabilitas serta presisi yang tinggi. Tingkat sensitivitas deteksi bisa disesuaikan dengan memutar potensiometer yang terdapat di modul pemrosesan. Untuk mendapatkan deteksi yang lebih akurat, kita bisa menggunakan mikrokontroler atau Arduino dengan output analog (koneksi ke pin ADC atau input analog pada mikrokontroler) yang akan menampilkan nilai kelembaban dalam skala 0 V (terhadap GND) sampai dengan Vcc (tegangan catu daya). Modul ini bisa dioperasikan dengan sumber daya antara 3,3 volt sampai 5 volt.



Gambar 2 Sensor YL-69 dari Prasetyo *et al* (2015)

Perbedaan diantara YL-69 dan FC-28 terletak pada bentuk isi probe dan jumlah modul. Probe YL-69 berbentuk dua pin panjang menyerupai garpu (seperti U) dan memiliki dua modul

yaitu probe dan modul kontrol sedangkan probe FC-28 berbentuk dua pin datar, lebih pipih, dan biasanya memiliki satu modul (probe+modul kontrol).

## Arduino

Menurut Kafiari *et al* (2018) Arduino merupakan sebuah pengendali mikro berbasis satu papan yang bersifat terbuka, berasal dari platform Wiring dan ditujukan untuk membantu pengguna dalam bidang elektronik yang beragam. Arduino juga berfungsi sebagai platform yang menggabungkan perangkat keras, bahasa pemrograman, dan Lingkungan Pengembangan Terintegrasi (IDE) dari komputasi fisik, yang merupakan IDE untuk memahami hubungan antara perangkat lunak dan perangkat keras yang bersifat interaktif, yaitu dapat menerima input dari lingkungan alamiah yang bersifat analog dan berkomunikasi kembali.

### Arduino UNO

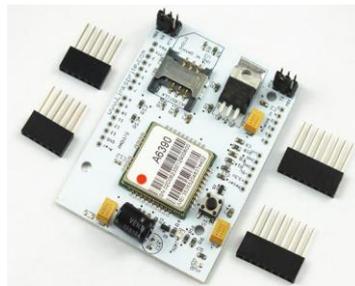
Arduino UNO adalah versi yang ditingkatkan dari Arduino duemilanove. Keduanya sama-sama menggunakan chip ATMEGA 328P, tetapi Arduino UNO tidak lagi memakai chip FTDI-FT232RL untuk mengubah USB menjadi serial. Sebagai gantinya, sekarang menggunakan chip ATMEGA8U2-MU. Tujuan penggunaan chip ini adalah untuk menyelesaikan masalah driver USB pada berbagai sistem operasi, baik Windows maupun Macintosh. Selain itu, perbaikan juga terlihat pada bootloader-nya. Arduino Duemilanove memiliki ukuran bootloader sebesar 2 KB dan berfungsi pada 57600 baud, sedangkan Arduino UNO dilengkapi bootloader bernama Optiboot yang hanya memerlukan 512 Byte (yang berarti hanya sepertiga dari ukuran Arduino Duemilanove, memungkinkan untuk menyimpan lebih banyak pustaka) dan beroperasi pada kecepatan 115200 baud (dua kali lebih cepat). Arduino model UNO dilengkapi dengan 14 pin untuk input dan output digital (di mana 6 di antaranya dapat berfungsi sebagai output PWM), 6 pin untuk input analog, resonator keramik berfrekuensi 16MHz, koneksi USB, soket listrik, header ICSP, dan tombol reset. Penjelasan ini bertujuan untuk memberikan pemahaman tentang komponen yang terdapat dalam sebuah mikrokontroler.



Gambar 3 Arduino UNO dari Yahwe *et al* (2016)

## Arduino GSM

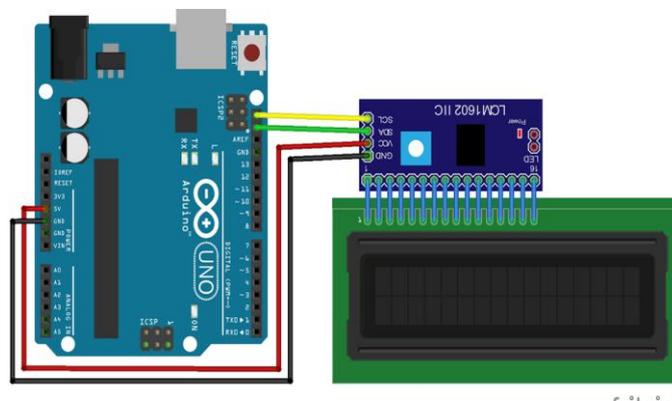
GSM adalah teknologi standar yang digunakan pada ponsel di seluruh dunia. Istilah ini merupakan singkatan dari *Global System for Mobile Communications*. Terkadang, istilah ini juga dikenal sebagai 2G, karena merupakan jaringan seluler pada generasi kedua. Dalam menggunakan akses internet GPRS (General Packet Radio Service), Arduino dapat meminta atau menyediakan halaman web untuk memperoleh nama *Access Point* (APN) serta *username* atau kata sandi dari penyedia layanan. Selain itu, GSM memungkinkan panggilan suara baik keluar maupun masuk, sistem pesan pendek (SMS), serta komunikasi data melalui GPRS.



Gambar 4 ATWIN Quad-band GPRS/GSM Shield for Arduino dari tokopedia AB Mikro

## LCD 16X2

Serial LCD 16X2 dimanfaatkan untuk mengurangi jumlah pin yang diperlukan pada LCD, jika tidak menggunakan mode serial, maka diperlukan lima pin digital. Dengan serial LCD, hanya dibutuhkan pin sda dan scl. LCD 16X2 berfungsi sebagai tampilan informasi dari proses yang berlangsung, seperti data sensor dan menu untuk penambahan pwm motor dc. Penerapan serial lcd dengan LCD 16X2 dapat dilihat pada gambar 4 di bawah ini.<sup>17</sup>



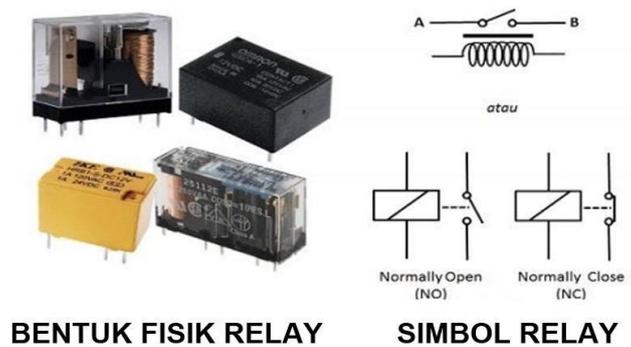
Gambar 5 LCD 16x2 dari Prasetyo *et al* (2015)

## Relay

Relay adalah perangkat yang beroperasi berdasarkan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan sejumlah kontaktor yang terhubung atau sebuah saklar elektronik yang bisa diatur dari rangkaian elektronik lainnya dengan menggunakan listrik sebagai sumber

energinya. Kontaktor bisa menutup (nyala) atau membuka (mati) karena pengaruh induksi magnet yang dihasilkan oleh saklar, di mana perpindahan kontaktor (nyala atau mati) dilakukan secara manual tanpa memerlukan aliran listrik. Relay terdiri dari tiga bagian utama, yaitu

- Common merupakan bagian yang terhubung dengan Normally Close pada kondisi normal.
- Koil merupakan elemen utama dari relay yang berperan dalam menciptakan medan magnet.
- Kontak terbagi menjadi dua, yaitu Normally Close yang merupakan keadaan awal sebelum diaktifkan menjadi close, dan Normally Open yang merupakan keadaan awal sebelum diaktifkan menjadi open.



Gambar 6 Relay dari Kafiar *et al* (2018)

### NodeMCU ESP8266

NodeMCU adalah sebuah papan elektronik berbasis chip ESP8266 yang memiliki kemampuan sebagai mikrokontroler sekaligus terhubung ke jaringan internet melalui koneksi WiFi. Board ini dilengkapi dengan pin input/output digital, sehingga sangat cocok untuk dikembangkan menjadi aplikasi monitoring maupun kontrol dalam proyek Internet of Things (IoT). NodeMCU ESP8266 dapat diprogram menggunakan Arduino IDE, dengan memanfaatkan compiler Arduino.

Dari segi bentuk, NodeMCU dilengkapi dengan port mini USB, yang mempermudah proses pemrograman. Modul ini merupakan pengembangan dari platform IoT berbasis ESP8266 tipe ESP-12. Dari segi fungsi, NodeMCU memiliki kemiripan dengan platform Arduino, namun keunggulannya terletak pada kemampuannya yang secara khusus dirancang untuk koneksi internet.

### Versi NodeMCU ESP8266



Gambar 7 NodeMCU ESP8266 dari Hidayati *et al* (2015)

### Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*)

Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) berfungsi untuk mengukur konsentrasi padatan terlarut dalam air, baik yang bersifat organik maupun anorganik, yang berdampak pada mutu air. Prinsip kerja sensor ini berdasarkan pengukuran konduktivitas listrik air, di mana nilai konduktivitas sebanding dengan jumlah zat terlarut. Pemantauan TDS secara berkala sangat penting untuk menjaga kualitas air, terutama dalam sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT).

Sensor TDS disesuaikan menggunakan larutan referensi agar hasil pengukuran tetap akurat. Penelitian dan penerapan sensor ini membuktikan kemampuannya dalam membedakan air bersih dan tercemar dengan tingkat kesalahan yang minimal. Selain itu, sensor dapat dikombinasikan dengan mikrokontroler seperti NodeMCU ESP8266 untuk mendukung pengiriman data secara daring.



Gambar 8 Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) dari widodo *et al* (2020)

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sensor Tanah

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Lloret *et al* (2021) di Spanyol dengan judul penelitian “A Wireless Sensor Network Deployment for Soil Moisture Monitoring in Precision Agriculture”, yang berarti sistem pemantauan kelembapan tanah berbasis *Wireless Sensor*

*Network* (WSN) berhasil dirancang dan diuji untuk mendukung praktik pertanian presisi. Penelitian ini dilakukan di kebun jeruk dan menargetkan efisiensi irigasi melalui pemantauan kelembapan tanah secara real-time. Sensor yang dikembangkan menggunakan prinsip induksi elektromagnetik dengan dua kumparan yang disusun dalam satu tabung PVC. Sistem ini tidak bergantung pada elektroda langsung seperti pada sensor konduktif, sehingga lebih tahan terhadap korosi dan degradasi lingkungan, menjadikannya cocok untuk penggunaan jangka panjang di lapangan. Prototipe sensor yang paling efektif menggunakan rasio lilitan 1:2 dengan jumlah lilitan 15 dan 30, serta bekerja pada frekuensi 93 kHz. Pengujian dilakukan pada tiga jenis tanah: pasir pantai, tanah pertanian, dan substrat komersial. Hasilnya menunjukkan bahwa sensor memiliki karakteristik linieritas yang tinggi, terutama sampai tingkat kelembapan 18,75%, yang berarti akurasi sensor tetap stabil dalam rentang kelembapan yang umum dijumpai pada lahan pertanian.

Sistem ini tidak hanya mengukur kelembapan tanah, tetapi juga terintegrasi dengan algoritma irigasi otomatis berbasis data sensor. Node sensor mengumpulkan data dan mengirimkannya ke node aktuator melalui jaringan Wi-Fi yang didukung oleh modul ESP32. Apabila lebih dari lima sensor dalam satu zona melaporkan kelembapan rendah, sistem secara otomatis akan mengaktifkan irigasi tetes atau membuka pintu air di zona tersebut. Protokol jaringan yang digunakan adalah AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector) untuk mendukung komunikasi antar node secara dinamis dalam jaringan ad-hoc. Sistem juga memiliki kemampuan *edge computing*, yaitu kemampuan memproses dan mengambil keputusan di tingkat node lokal tanpa harus mengirimkan semua data ke pusat, sehingga respon terhadap perubahan kondisi di lapangan dapat lebih cepat. Penelitian ini juga menyoroti pentingnya desain sirkuit daya yang efisien dan perhitungan frekuensi resonansi sensor untuk menghindari distorsi sinyal dan konsumsi daya berlebih.

Selain itu, sensor yang dikembangkan ini memiliki keunggulan biaya, di mana setiap unit hanya memerlukan sekitar \$2.15 untuk diproduksi, termasuk bahan fisik seperti kawat email dan pipa PVC. Ini jauh lebih murah dibandingkan dengan sensor kelembapan komersial yang harganya bisa mencapai \$50–\$200 per unit. Sensor ini dapat diintegrasikan dengan berbagai platform mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32, menjadikannya solusi terbuka yang fleksibel dan dapat dimodifikasi. Namun, penelitian juga mencatat adanya tantangan seperti perlunya perlindungan terhadap cuaca ekstrem dan risiko korosi pada komponen logam, meskipun risiko ini dapat diminimalkan dengan pelapisan logam seperti emas atau plastik tahan air.

Sebaliknya, penelitian yang dilakukan oleh Haidar Ali, Falen Bayu Adhetya, dan Nurul Hidayat (2020) di Indonesia lebih menitikberatkan pada pengembangan sistem pemantauan karakteristik tanah berbasis Arduino Uno dan antarmuka web lokal. Penelitian ini bertujuan untuk membantu petani sayuran seperti bayam dan kangkung dalam memahami kondisi lingkungan tanah, sehingga dapat meningkatkan kualitas hasil tanaman. Sistem yang dikembangkan menggunakan sensor konduktif YL-69 untuk kelembapan tanah, sensor suhu DS18B20, dan sensor pH tanah. Semua sensor ini dihubungkan dengan mikrokontroler Arduino Uno dan data dikirimkan ke komputer menggunakan koneksi kabel USB, lalu ditampilkan secara lokal melalui browser menggunakan server XAMPP.

Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa data sensor dapat ditampilkan dengan baik dalam bentuk nilai numerik maupun grafik melalui web browser. Namun, berbeda dengan penelitian Lloret *et al* (2021) sistem ini belum dilengkapi dengan fungsi otomatisasi. Artinya, meskipun sensor memberikan informasi penting tentang kondisi tanah, keputusan irigasi atau pemupukan tetap dilakukan secara manual oleh petani berdasarkan interpretasi terhadap data yang ditampilkan. Selain itu, sensor YL-69 yang digunakan berbasis konduktivitas memiliki kelemahan signifikan, terutama terkait akurasi yang bisa terganggu oleh kadar garam atau unsur hara dalam tanah, serta umur pakai yang terbatas akibat korosi elektroda karena kontak langsung dengan media tanah basah.

Dari sisi jaringan dan komunikasi data, sistem yang dikembangkan oleh tim dari Indonesia juga masih menggunakan pendekatan komunikasi lokal tanpa menggunakan jaringan sensor nirkabel atau komunikasi jarak jauh. Ini sangat kontras dengan pendekatan Lloret *et al* (2021) yang menggunakan komunikasi Wi-Fi terdesentralisasi, memungkinkan fleksibilitas lebih besar untuk skala lahan yang luas dan pengambilan keputusan secara terdistribusi (edge-based automation). Sistem di Indonesia memiliki keunggulan pada kesederhanaan dan kemudahan implementasi, namun memiliki keterbatasan pada skalabilitas dan kemampuan adaptif terhadap kondisi lapangan yang kompleks.

Dalam konteks di Indonesia, tantangan-tantangan seperti keterbatasan infrastruktur jaringan dan literasi digital petani memang menjadi hambatan utama untuk penerapan sistem seperti yang dikembangkan di Spanyol. Namun, mengingat sensor induktif yang dikembangkan oleh Lloret *et al* (2021) memiliki biaya produksi rendah, ketahanan tinggi, dan bisa diintegrasikan dengan mikrokontroler umum seperti ESP32 atau Arduino, maka sistem tersebut sangat potensial untuk diadaptasi dalam pertanian Indonesia dengan beberapa penyesuaian. Terlebih lagi, dengan meningkatnya minat terhadap pertanian presisi dan digitalisasi sektor pertanian oleh pemerintah, integrasi sistem sensor nirkabel dan irigasi

otomatis akan sangat relevan untuk mengatasi isu efisiensi air, peningkatan produktivitas, dan adaptasi terhadap perubahan iklim.

### **Monitoring Kelembaban**

Peneliti Prasetyo *et al* (2015) dan Mardika *et al* (2019) melakukan pengujian nilai ADC pada tanah yang mempunyai kadar kelembaban tanah yang sedikit dan kadar kelembaban tanah yang tinggi. Sampel tanah yang digunakan adalah tanah dalam keadaan kering dan basah. Tanah dikatakan kering bila tanah itu terlihat sangat kering dan tak terlihat basah sedikitpun.<sup>17</sup> Namun hal ini perlu diuji dengan soil moisture sensor yang akan terhubung pada relay. Apakah data tanah itu kering, Jika TIDAK, maka pompa air mati. Jika Ya, maka pompa air menyala untuk membasahi tanah. Setelah membasahi tanah, sensor membaca data lagi untuk mendapatkan data kelembaban tanah apakah tanah basah, Jika YA, maka pompa air mati. Jika TIDAK, maka pompa air menyala lagi untuk membasahi tanah.

Berdasarkan hasil dari dua penelitian tersebut terdapat perbedaan persentase pada pematian pompa air. Alasan tersebut diperkuat karena peneliti melakukan penelitian komparatif yang menganalisis respons tanaman berbeda terhadap variasi tingkat kelembaban tanah (kering dan basah). Pada hasil percobaan prototype penyiraman tanaman persemaian sayur-sayuran dengan menggunakan sensor kelembaban tanah berbasis arduino membuktikan bahwa ketika sensor membaca nilai kelembaban 38-47% alat akan bekerja untuk menyiram tanaman persemaian dan ketika sensor membaca nilai kelembaban 61-62% alat akan berhenti menyiram.<sup>17</sup> Sedangkan untuk Pohon gaharu memerlukan kelembaban tanah di bawah atau sama dengan 80%. Maka jika kelembaban tanah pada pohon gaharu berada di  $\leq 80\%$  dari yang sudah ditentukan, sensor akan menghidupkan waterpump (pompa air) untuk melembapkan tanah hingga mencapai nilai tersebut. Water Pump akan berhenti beroperasi apabila tingkat kelembaban tanah pohon gaharu telah melebihi 80%.

Penelitian lainnya yaitu Yahwe *et al* (2016) pada studi kasus cabai dan tomat menggunakan metode yang sama, yaitu memanfaatkan fungsi Soil Moisture Sensor FC-28 sebagai pengukur kelembaban tanah, arduino UNO sebagai otak alat yang memproses dan mengolah data, relay sebagai saklar *on-off* otomatis yang menyiram tanaman pada saat kondisi yang telah ditentukan, serta pemanfaatan GSM shield ATWIN Quad-Band sebagai pengirim SMS. Hasilnya, pada kelembaban tanah sebesar 66,47%, SMS diterima dengan keterlambatan 5 detik; pada 84,07%, SMS datang terlambat 3 detik; pada 7,72%, SMS datang terlambat selama 60 detik; pada 8,02%, SMS datang terlambat 15 detik; dan pada 79,87% terjadi keterlambatan 8 detik, sementara sisanya tepat waktu. Dalam proses pengiriman informasi lewat SMS, data terbaru mengenai kelembaban tanah dapat langsung dikirim dengan rata-rata

jeda waktu 15 detik dari pembacaan sensor. Jeda 15 detik ini memastikan bahwa saat sistem mendeteksi kelembaban tanah, data tidak langsung dikirim ke Arduino UNO untuk pesan, karena kondisi kelembaban tanah yang terbaca oleh sensor mungkin berubah. Tingkat keberhasilan keseluruhan sistem alat dalam percobaan mencapai 93,75%, angka ini mencerminkan keberhasilan alat tersebut dalam memantau kelembaban tanah, mendeteksi tingkat kelembaban tanah, serta menyiram tanaman ketika kondisi tanah dalam keadaan tidak baik atau kering.

### **Sensor pH tanah**

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Mualfah *et al* (2023) dan Mukhayat *et al* (2021) pengujian akurasi Sensor pH tanah dilakukan dengan menghubungkan NodeMCU ESP8266 dengan bantuan arduino dikirim ke aplikasi untuk pengujian. Terdapat 4 jenis sampel tanah (tanah hitam, tanah gambut, tanah pasir, dan tanah rawa) yang digunakan untuk diuji coba dengan memonitoring perbedaan perkembangannya. Sistem pH tanah digunakan untuk membaca tingkat keasaman tanah secara *real time*, data dikirim ke Arduino uno menggunakan jaringan wifi untuk menampilkan hasil pH pada tanah, dan dikirim ke NodeMCU ESP8266 sebagai penghubung ke internet aplikasi bot telegram dan *smart garden* sehingga petani dapat memantau dari jarak jauh dalam kondisi *real time*. Jika kondisi tanah terdeteksi kekurangan pH maka, pengolahan data yang dihasilkan akan merekomendasikan pemupukan/sulfur.

Terdapat beberapa jenis pH sesuai dengan nilainya, pH sangat asam dengan nilai  $<5,5$ , pH asam dengan nilai  $5,5 - 6,5$ , dan pH netral dengan nilai  $> 6,5$  pada tanah, Berdasarkan hasil studi literatur yang dikaji dari dua penelitian. Hasil dari uji pH tanah menggunakan aplikasi *smart garden* pada tanaman cabai menunjukkan yaitu bahwa alat pengukur pH tanah 7,14 dan sensor pH tanah 7,24 yang menandakan bahwa alat sensor dan alat pengukur sudah sesuai, namun perlunya pengembangan alat monitoring pH (*smart garden*) supaya nilai yang di hasilkan lebih stabil. Sedangkan, hasil dari uji pH tanah menggunakan aplikasi bot telegram memberitahu kondisi pH tanah pada tanaman kacang tanah dalam kondisi *real time* sebesar 6,13 dengan akurasi MAE (*mean absolute error*) yang dihasilkan 0,14 Yang menandakan bahwa kondisi tanah pH tanah cukup baik, jika semakin kecil hasil perhitungannya maka semakin tinggi akurasi.

Penggunaan sensor pH tanah berbasis Internet of Things (IoT) memberikan keunggulan dalam pemantauan kualitas tanah secara real-time dan jarak jauh. Teknologi ini memungkinkan data pH dikirim dan disimpan secara otomatis, sehingga mempermudah analisis jangka panjang dan pengambilan keputusan cepat dalam pengelolaan lahan. Selain itu, sistem ini dapat

terintegrasi dengan perangkat otomatis lainnya seperti irigasi atau pemupukan berbasis sensor, sehingga meningkatkan efisiensi pertanian modern.

Namun, sistem IoT memiliki tantangan seperti kebutuhan akan koneksi internet dan listrik yang stabil, serta biaya awal dan pemeliharaan perangkat yang tidak sedikit. Di sisi lain, metode konvensional seperti pH meter manual tetap digunakan karena lebih murah dan sederhana, meski kurang efisien dan tidak mendukung pemantauan berkelanjutan. Oleh karena itu, pemilihan metode sebaiknya disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi lapangan.

### **Sensor nutrisi tanah**

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Priawardana, S.G., dan Surriani, A. (2025) menggunakan sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) Meter V1.0 untuk mengukur kadar nutrisi larutan hidroponik menggunakan aplikasi MIT (*Massachusetts Institute of Technology*). MIT digunakan untuk memonitoring dan pengendalian sistem hidroponik yang menampilkan data secara *real time* dan dapat diatur menggunakan *smartphone*. Sampel yang digunakan adalah air nutrisi dengan campuran AB mix yang dimasukkan ke dalam tandon, diukur oleh TDS setelah itu di bandingkan hasilnya dengan alat standar dan sensor pengukur sistem otomatis aplikasi. Pompa nutrisi 9V DC dikendalikan otomatis oleh ESP32 berdasarkan data sensor TDS. Jika nutrisi kurang, pompa akan aktif menambah nutrisi, dan semua dapat dipantau serta dikontrol lewat aplikasi MIT.

Dari hasil pengujian ditampilkan secara *real time* menggunakan sensor TDS yang dikirim melalui aplikasi MIT sensor pengukur dan sensor standar. Hasil dari penelitian pengujian dilakukan sebanyak lima kali menunjukkan bahwa Error terkecil terjadi pada pengujian pertama dengan nilai RF sebesar 1,4285%. Dan nilai R terbesar terjadi pada pengukuran kedua dengan nilai error sebesar 7,3786% yang diperoleh rata-rata error 4,7468% dari sensor-sensor tersebut nilai error rendah < 5% ini menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang baik. Namun perlunya pengembangan aplikasi MIT supaya nilai akurasi yang dihasilkan lebih stabil dan dapat memperluas adopsi teknologi, dan mendorong pertanian berkelanjutan.

Penggunaan sensor nutrisi tanah berbasis IoT memiliki kelebihan utama dalam hal kemudahan dan efisiensi pengelolaan nutrisi tanaman secara real-time. Dengan IoT, data nutrisi tanah dapat dipantau secara otomatis dan terus-menerus, sehingga petani dapat segera mengetahui kekurangan atau kelebihan nutrisi dan melakukan penyesuaian pemupukan secara tepat waktu tanpa harus melakukan pengukuran manual yang memakan waktu dan tenaga. Selain itu, sistem IoT dapat mengotomatiskan pemberian nutrisi, mengurangi risiko kesalahan manusia, dan meningkatkan produktivitas tanaman secara signifikan. Implementasi IoT juga

memungkinkan pengumpulan data dalam jumlah besar yang dapat dianalisis untuk meningkatkan strategi pemupukan dan pengelolaan lahan secara berkelanjutan.

Di sisi lain, sebelum menggunakan sistem IoT, pengecekan nutrisi tanah secara manual memiliki keunggulan dalam hal validasi langsung dan kontrol penuh terhadap proses pengukuran. Metode manual memungkinkan petani atau teknisi untuk melakukan kalibrasi dan verifikasi sensor secara langsung serta memahami kondisi tanah secara lebih mendalam melalui pengujian laboratorium. Namun, metode ini memiliki kekurangan seperti memerlukan waktu lama, tenaga lebih banyak, dan data yang diperoleh bersifat temporer sehingga tidak bisa memberikan informasi secara real-time. Selain itu, pengukuran manual rentan terhadap kesalahan subjektif dan keterbatasan frekuensi pengambilan sampel, yang dapat menghambat pengambilan keputusan cepat dalam pengelolaan nutrisi tanaman.

#### **4. KESIMPULAN**

Berdasarkan pembahasan dari kajian literatur mengenai penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk manajemen kesehatan tanah, dapat ditarik beberapa poin kesimpulan yang mengurutkan perbandingan pendekatan teknologi, tingkat efektivitas, serta tantangannya sebagai berikut:

- Terdapat kesenjangan signifikan antara pendekatan teknologi yang diterapkan secara internasional dan lokal. Penelitian internasional seperti yang dilakukan Lloret et al. di Spanyol telah mengembangkan sistem nirkabel (*Wireless Sensor Network*) yang terdesentralisasi, menggunakan sensor induktif tahan korosi, dan terintegrasi dengan otomatisasi irigasi berbasis *edge computing*. Sebaliknya, penerapan di Indonesia, seperti oleh Haidar Ali et al. lebih umum menggunakan sistem terpusat dengan koneksi kabel, sensor konduktif (misalnya YL-69) yang rentan terhadap korosi dan gangguan salinitas, serta terbatas pada fungsi pemantauan tanpa otomatisasi.
- Tingkat otomatisasi menjadi pembeda utama dalam efektivitas sistem. Sistem yang lebih maju tidak hanya berfungsi sebagai alat pantau, tetapi juga sebagai eksekutor otomatis. Contohnya, sistem mampu mengaktifkan irigasi secara mandiri ketika kelembaban tanah terdeteksi rendah atau melakukan dosis nutrisi pada sistem hidroponik ketika sensor TDS menunjukkan kekurangan unsur hara. Sementara itu, sistem yang lebih sederhana hanya menampilkan data, sehingga keputusan dan tindakan tetap bergantung pada intervensi manual oleh petani.

- Metode komunikasi data sangat bervariasi dan menentukan skalabilitas sistem. Beberapa penelitian masih menggunakan komunikasi lokal melalui kabel USB ke server XAMPP, yang membatasi jangkauan dan aksesibilitas data. Pendekatan yang lebih adaptif memanfaatkan modul GSM untuk mengirim notifikasi via SMS, memberikan kemampuan pantau jarak jauh meski terbatas. Sistem terancang menggunakan mikrokontroler berkemampuan Wi-Fi (seperti ESP32 dan NodeMCU ESP8266) untuk mengirim data secara *real-time* ke aplikasi *smartphone* atau *platform cloud*, memungkinkan pemantauan berkelanjutan dari mana saja.
- Akurasi sensor secara umum terbukti tinggi, namun stabilitas sistem dan antarmuka menjadi tantangan. Berbagai penelitian menunjukkan tingkat keberhasilan dan akurasi yang baik, seperti *error rate* sensor TDS di bawah 5% dan tingkat keberhasilan sistem penyiraman mencapai 93,75%. Meskipun demikian, beberapa studi juga menyoroti perlunya pengembangan lebih lanjut pada aplikasi antarmuka (*smart garden* atau MIT App) agar data yang dihasilkan lebih stabil dan tidak fluktuatif.

Meskipun terdapat perbedaan kemajuan teknologi, studi-studi ini secara konsisten menunjukkan bahwa penerapan IoT bahkan dalam bentuk yang paling sederhana berhasil menyediakan data krusial mengenai kondisi tanah yang sebelumnya sulit didapatkan secara efisien. Komponen-komponen canggih seperti sensor induktif dan mikrokontroler ESP32 yang terbukti efektif dalam penelitian internasional, kini memiliki biaya yang semakin terjangkau dan bersifat *open-source*. Hal ini membuka peluang besar untuk adaptasi dan pengembangan sistem manajemen kesehatan tanah yang lebih tangguh dan otomatis di Indonesia, guna meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan sektor pertanian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chenu, K., Fletcher, A., Ababaei, B., Christopher, J., Kelly, A., Hickey, L., Van Oosterom, E., & Hammer, G. (2019). Integrating crop modelling, physiology, genetics and breeding to aid crop improvement for changing environments in the Australian Wheatbelt. In *Proceedings of the Third International Tropical Agriculture Conference (TROPAG 2019)*, Brisbane. Queensland Alliance for Agriculture and Food Innovation (QAAFI), University of Queensland.
- Dhumal, A., Thombare, V., & Deshmukh, R. (2019). IoT based smart soil monitoring system. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 7(4), 1–5.
- Effendi, N., Ramadhani, W., & Farida, F. (2022). Perancangan sistem penyiraman tanaman otomatis menggunakan sensor kelembapan tanah berbasis IoT. *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, 3(2), 91–98.

- Haidar Ali, F. B. A., & Nurul Hidayat. (2020). Pengukuran karakteristik tanah menggunakan sensor berbasis web dengan Arduino Uno untuk peningkatan kualitas sayuran. *Journal of Physical Science and Engineering*, 4(1). [Tambahkan halaman jika tersedia]
- Hidayati, N. H. L., Rohmah, M. F., & Zahara, S. (2019). Prototype smart home dengan modul NodeMCU ESP8266 berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Ilmiah Teknik Universitas Islam Majapahit*, 1(2), 101–107.
- Husdi, H. (2018). Monitoring kelembaban tanah pertanian menggunakan soil moisture sensor FC-28 dan Arduino Uno. *ILKOM Jurnal Ilmiah*, 10(2), 237–243.
- Kafiar, E. Z., Allo, E. K., & Mamahit, D. J. (2018). Rancang bangun penyiram tanaman berbasis Arduino Uno menggunakan sensor kelembaban YL-39 dan YL-69. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 7(3), 267–276.
- Kurnianto, B., Mediaswati, C. N., Nugroho, H. A., Fajar, A., Davin, N., & Cheisa, S. (2023). Sistem monitoring Total Dissolved Solid (TDS) pada lower basin cooling tower menggunakan sensor berbasis internet di Bandar Udara Internasional Yogyakarta – Kulon Progo. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875–5895.
- Lloret, J., Sendra, S., Garcia, L., & Jimenez, J. M. (2021). A wireless sensor network deployment for soil moisture monitoring in precision agriculture. *Sensors*, 21(21), 7243.
- Mardika, A. G., & Kartadie, R. (2019). Mengatur kelembaban tanah menggunakan sensor kelembaban tanah YL-69 berbasis Arduino pada media tanam pohon gaharu. *JoEICT (Journal of Education and ICT)*, 3(2). [Tambahkan halaman jika tersedia]
- Marzali, A. (2016). Menulis kajian literatur. *Jurnal Etnografi Indonesia*. [Lengkapi volume dan nomor jika ada]
- Mualfah, D., Sandi, G. H., & Fuad, E. (2023). Sistem monitoring pH dan kelembaban tanah pada tanaman kacang tanah berbasis IoT (Internet of Things). *Jurnal Aplikasi Teknologi Informasi dan Manajemen (JATIM)*, 4(2), 138–147.
- Mukhayat, N., Ciptadi, P. W., & Hardyanto, R. H. (2021, May). Sistem monitoring pH tanah, intensitas cahaya dan kelembaban pada tanaman cabai (Smart Garden) berbasis IoT. In *Seri Prosiding Seminar Nasional Dinamika Informatika* (Vol. 5, No. 1).
- Nuryadi, F., Septiani, N. W. P., & Lestari, M. (2025, January). Implementasi ESP32 untuk sistem pemantauan kesuburan tanah berbasis IoT. In *Seminar Nasional Riset dan Inovasi Teknologi (SEMNAS RISTEK)* (Vol. 9, No. 1, pp. 79–86).
- Patil, K. A., & Kale, N. R. (2016). A model for smart agriculture using IoT. In *International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication (ICGTSPICC)*.

- Prasetyo, E. N., Handaga, B. I., & Ratnasari Nur Rohmah, S. T. (2015). Prototype penyiram tanaman persemaian dengan sensor kelembaban tanah berbasis Arduino (Undergraduate thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Pratiwi, B., Budiharto, I., & Fauzan, S. (2020). Literature review: Hubungan kecerdasan emosional dengan kenakalan remaja pada remaja madya. *Jurnal Untan*, 2(2). [Tambahkan halaman jika tersedia]
- Priawardana, S. G., & Surriani, A. (2025). Rancang bangun sistem monitoring dan manajemen nutrisi berbasis Internet of Things (IoT) untuk metode hidroponik menggunakan MIT App Inventor. *Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan*, 6(1), 1–10.
- Putri, R. E., Harahap, H. M., & Putri, I. (2023). Pengembangan sistem kontrol nutrisi budidaya hidroponik berbasis IoT (Internet of Things) sawi samhong (*Brassica sinensis* L.). *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem*. [Lengkapi volume & halaman]
- Susuek, W. I., Talli, A., Irawan, J. D., & Ariwibisono, F. X. (2023). Rancang bangun sistem monitoring kualitas tanah untuk tanaman cabai berbasis IoT (Internet of Things). *JATI: Jurnal Teknologi Informasi*, 7(4). [Tambahkan halaman jika tersedia]
- Tembusai, Z., & Armando, B. (2024). Sistem monitoring kualitas tanah tanaman hias berbasis IoT dengan sensor pH. *Jurnal Minfo Polgan*, 13(2), 2030–2035.
- Widianta, M. M. D., Utomo, D. T., Etikasari, B., Jumiatur, & Mahendra, O. Y. (2022). Alat ukur karakteristik tanah berbasis IoT untuk tanaman pangan (padi, jagung, kedele). In *Prosiding Seminar Nasional ReTII ke-17*, Politeknik Negeri Jember.
- Widodo, Y. B., Ichsan, A. M., & Sutabri, T. (2020). Perancangan sistem smart home dengan konsep Internet of Things hybrid berbasis protokol Message Queuing Telemetry Transport. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, 6(2), 123–136.
- Yahwe, C. P., Isnawaty, F. A., & Aksara, F. (2016). Rancang bangun prototype sistem monitoring kelembaban tanah melalui SMS berdasarkan hasil penyiraman tanaman: Studi kasus tanaman cabai dan tomat. *Jurnal SemanTIK*, 2(1), 97–110.