

Sistem Monitoring Multiparameter Kesuburan Tanah Pada Lahan Pertanian Berbasis Internet Of Things

Multiparameter Soil Fertility Monitoring System in Agriculture Based on the Internet of Things

Mhd Ikhsan Rifki^{*1}, Fitra Hidayat Lubis²

^{1,2}Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

E-mail: ¹rifki.mhdikhsan@uinsu.ac.id, ²hidayatfitra80@gmail.com

Received: October 12, 2025 | Revised: October 22, 2025 | Accepted: January 16, 2025

Abstrak

Penelitian bertujuan untuk mengimplementasikan sistem monitoring kesuburan tanah berbasis IoT yang mengintegrasikan sensor multiparameter kesuburan tanah dalam memonitoring pH, suhu, kelembapan tanah, EC, N, P, dan K melalui rancangan alur data secara *end-to-end*, untuk kebutuhan analisis melalui media visualisasi data. Arsitektur sistem terdiri dari ESP32 sebagai pusat dan kontrol akuisisi dan pengirim data, kanal pencatatan riwayat data melalui *google spreadsheet*, serta visualisasi mini OLED, dan *web dashboard* untuk kebutuhan analitik interaktif. Data dikirim ke *backend Google Apps Script* melalui permintaan HTTP disertai dengan timestamp berbasis zona waktu. Sistem juga menerapkan validasi dengan menggunakan komputasi numerik CRC 16, dalam memberikan kesesuaian data sebagai bagian dari *error checking*. Pada kanal web, terdapat dua lapis visualisasi: panel KPI nilai terakhir untuk tujuh parameter dengan masing-masing grafik deret waktu. Pengujian berorientasi pada uji koneksi dan integrasi sensor dengan ESP32, konektivitas sistem jaringan komunikasi dan akses menggunakan beberapa perangkat. Hasil penelitian menunjukkan sistem mampu memberikan visualisasi data hasil pengukuran multiparameter kesuburan. Sehingga analisis pemberian pupuk bukannya didasari oleh pengalaman praktisi, namun mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Penelitian memberi fondasi untuk evaluasi lebih lanjut terhadap akurasi relatif sensor, keberhasilan pencatatan data, aspek visualisasi sesuai kebutuhan pemangku kepentingan pada sektor pertanian.

Kata kunci: Sistem Monitoring, Kesuburan Tanah, Internet of Things, Multiparameter Tanah

Abstract

The research aims to implement an IoT-based system for monitoring soil fertility that integrates multiparameter sensors to track pH, temperature, soil moisture, EC, N, P, and K through an end-to-end data flow design for analysis using data visualization media. The system architecture consists of ESP32 as the center and control for data acquisition and transmission, a data history recording channel through Google Spreadsheets, mini OLED visualization, and a web dashboard for interactive analytics. Data is sent to the Google Apps Script backend via HTTP requests accompanied by a time zone-based timestamp. The system also implements validation using CRC 16 numerical computation to ensure data consistency as part of error checking. On the web channel, there are two layers of visualization: a KPI panel showing the latest values for seven parameters, each with a time series graph. The testing focused on connection and sensor integration with ESP32, network communication system connectivity, and access using several devices. The results of the study show that the system is capable of visualizing data on multiple fertility measurements. Thus, fertilizer application analysis is not based on practitioner

experience but supports data-driven decision-making. The study provides a foundation for further evaluation of the relative accuracy of sensors, the success of data recording, and aspects of visualization according to the needs of stakeholders in the agricultural sector

Keywords: Monitoring System, Soil Fertility, Internet of Things, Soil Multiparameter

1. PENDAHULUAN

Indonesia menjadi salah satu negara dengan status sebagai negara agraris, banyak penduduk Indonesia yang menekuni aktivitas pertanian sebagai bidang profesi pekerjaannya. Hal ini dapat dilihat dari 88,42% tenaga kerja informal pada bidang pertanian [1]. Sehingga sektor pertanian menjadi salah satu sektor yang besar dan sangat berperan dalam aspek pembangunan nasional [2]. Keberhasilan sektor pertanian sangat bergantung pada aspek operasional dan manajemen pertanian, yang dapat mempengaruhi hasil panen dan produksi hasil pertanian. Maksimalnya hasil panen akan memberikan dampak yang signifikan pada suplai dan ketersediaan produk-produk pertanian yang dibutuhkan oleh masyarakat [3]. Selain itu, hasil panen yang maksimal dapat memberikan dampak ketersediaan pasokan hasil pertanian yang terjaga serta dapat memberikan kestabilan harga pasar serta meminimalisir potensi kelangkaan produk-produk hasil pertanian. Kebutuhan masyarakat terhadap produk-produk hasil pertanian sangat tinggi, hal ini didorong oleh faktor jumlah penduduk Indonesia yang sangat besar. Sehingga diperlukan langkah dan strategi dalam mengoptimalkan hasil panen untuk memenuhi kebutuhan tersebut.

Untuk mewujudkan hal tersebut, teknologi pada pertanian dapat dijadikan sebagai salah satu opsi untuk memaksimalkan hasil pertanian. Pemanfaatan teknologi dapat memberikan dampak kemudahan dan efisiensi penggunaan sumber daya yang dibutuhkan para pemegang kepentingan dan pelaku-pelaku usaha dalam bidang tersebut. Mekanisme operasional dan manajemen pada sektor pertanian, merupakan beberapa bagian sentral sektor pertanian yang dapat dioptimalkan dengan menggunakan bantuan teknologi. Salah satu bentuk teknologi yang dapat digunakan dalam melakukan membantu sektor pertanian adalah Internet of Things (IoT).

IoT dapat dideskripsikan sebagai jaringan nirkabel yang dapat memfasilitasi pertukaran informasi antara perangkat cerdas, sensor, serta berbagai jenis terminal lainnya melalui jaringan komunikasi internet [4]. Berbagai jenis sektor usaha telah mengadopsi teknologi internet of things sebagai salah satu teknologi yang dinilai memiliki manfaat yang besar. Menurut data statistik, pemanfaatan perangkat IoT akan menyentuh jumlah sebesar 125 miliar pada tahun 2030 yang diimplementasikan pada berbagai sektor, termasuk bidang pertanian [5]. Melihat dampak dan manfaatnya yang sangat signifikan, maka IoT dinilai dapat memberikan kemudahan operasional dan manajemen pada sektor pertanian serta dapat menyediakan informasi kebutuhan sumber daya yang sesuai dengan kondisi tumbuhan dan lahan pertanian sehingga hasil produksi pertanian dapat memperoleh hasil yang maksimal [6].

Secara spesifik, IoT dalam konteks bidang pertanian dapat dimanfaatkan dalam membentuk sistem pertanian cerdas yang dapat dimanfaatkan dalam memonitoring pertumbuhan tanaman, sistem otomatisasi saluran irigasi, hingga memonitoring kebutuhan nutrisi tumbuhan pada tanah untuk memaksimalkan pertumbuhan produk hasil pertanian dan meningkatkan potensi hasil pertanian menjadi lebih maksimal [7]. Beberapa parameter penting pada tanah pertanian diantaranya unsur kandungan hara yang dibutuhkan tanah, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium [8]. Selain itu, beberapa parameter lainnya, mencakup pH tanah, suhu, kelembapan, serta konduktivitas tanah [9]. Peranan unsur-unsur hara pada tanah, memberikan ketersediaan nutrisi yang berdampak pada pertumbuhan tanaman. Sehingga tanaman dapat tumbuh optimal dan dapat menghasilkan produk pertanian yang dapat dipanen secara berkala dan tepat waktu. Kekurangan unsur hara dapat menyebabkan tanaman tidak dapat tumbuh secara optimal, dan mudah terserang

penyakit. Kekurangan unsur hara dapat ditangani dengan menggunakan pemberian nutrisi tambahan dengan menggunakan media pupuk organik dan kimia.

Kurangnya alat ukur kandungan unsur hara tanah, penggunaan pupuk kimia yang sering dilakukan karena dampaknya yang instan, dapat menyebabkan pemberian pupuk dan nutrisi tambahan pada tanaman berada pada level dosis yang berlebih. Jika melebihi dosis tertentu dapat menyebabkan lahan pertanian menjadi krisis. Berdasarkan data yang dihimpun, sebesar 72 persen lahan pertanian di Indonesia mengalami krisis [10]. Dalam menganalisis kondisi dan kebutuhan unsur hara tanah lahan pertanian, maka dibutuhkan sebuah sistem monitoring kebutuhan unsur hara tanah. Hal ini dilakukan untuk memberikan data hasil pengukuran yang dapat dijadikan sebagai dasar penanganan kekurangan unsur hara pada tanah, menentukan waktu penyiraman tanaman yang tepat, serta menentukan komposisi pemberian pupuk yang ideal sesuai dengan kebutuhan tanaman. Penelitian relevan yang berkaitan dengan penelitian, dapat dideskripsikan sebagai berikut. Penelitian yang dilakukan oleh [11] melakukan perancangan aplikasi internet of Things dalam produksi pertanian buah melon. Implementasi sistem monitoring memanfaatkan empat parameter dan sensor yang meliputi : sensor hujan, kelembapan tanah, sensor tanah dan suhu tanah untuk melihat kebutuhan air dan penentuan waktu penyiraman tanaman buah melon. Tujuannya mengembangkan sistem pemantauan dan pengendalian menggunakan IoT untuk tanaman melon yang ditanam pada dalam durasi waktu 80 hari. Untuk tujuan analisis, data yang dihimpun merupakan data pengukuran selama 20 hari, dimana data yang diukur diperoleh dari satu variabel saja, yaitu suhu (C). Data pengukuran suhu memiliki interval rerata pada level 25-35 (C). Mekanisme proses mendeskripsikan penyiraman air yang secara kondisional, sehingga penyiraman dilakukan dengan menyesuaikan standar *threshold* pembacaan data dari sensor. Petani dapat mengatur dan menyesuaikan pengaturan secat manual melalui tampilan halaman web untuk pompa air dan perangkat lainnya pada lingkungan IoT di sistem monitoring. Penjadwalan pemupukan juga dilakukan untuk memudahkan petani dalam memberikan nutrisi tambahan sesuai dengan kebutuhan petani.

Penelitian yang dilakukan oleh [12] melakukan pengembangan sistem monitoring, dengan tujuan melakukan pemantauan dan memperoleh visualisasi data kelembapan dan kadar pH pada lahan pertanian. Sistem monitoring menggunakan perangkat kontrol arduino, dengan tambahan ESP8266 untuk koneksi jaringan internet yang dimanfaatkan dalam pengiriman database website. Sementara itu, sensor yang digunakan merupakan sensor soil moisture, sensor pH. Selain itu, respon pengukuran menggunakan *buzzer* yang difungsikan sebagai alarm. Hasil penelitian data dapat divisualisasi pada grafik yang ditampilkan pada *website*. Visualisasi nilai sensor pH, dan variabel kadar keasaman tanah. Kemudian dilanjutkan dengan pengiriman data ke database untuk disimpan sebagai arsip. Data akan divisualisasikan pada *website* secara *realtime* sehingga dapat dilihat oleh petani. Kondisi lahan dibagi atas 4 (empat) lokasi yang berbeda, dengan hasil pengukuran yang diperoleh bervariasi sesuai dengan kondisi masing-masing lokasi area. Secara keseluruhan hasil eksperimen yang dilakukan, telah berjalan sesuai dengan rencana ditandai dengan berfungsinya seluruh perangkat yang diinstalasi pada lingkungan IoT.

Penelitian yang dilakukan oleh [13] yang merancang sebuah instalasi sistem berbasis internet of things dalam melakukan pemantauan kondisi parameter tanaman cabai, yaitu kelembapan dan pH tanah. Data yang diukur berdasarkan hasil pengukuran parameter kesuburan tanah, melalui pemanfaatan fungsi sensor soil moisture dan yl-69. Sementara itu, sistem kontrol yang diimplementasikan memanfaatkan NodeMCU Esp8266. Penyiraman otomatis dilakukan dengan menggunakan rule parameter tanah, dimana jika nilai kelembapan pada tanah mencapai level >1000 maka pompa akan mendorong air untuk menyiram tanaman. Kondisi sebaliknya terjadi saat nilai kelembapan mencapai nilai <1000, maka pompa akan berada dalam kondisi tidak aktif. Selain itu, data dapat divisualisasikan dan diakses melalui perangkat komunikasi. merancang sistem penyiraman otomatis.

Penelitian yang dilakukan oleh [14] mengusulkan sistem manajemen irigasi cerdas menggunakan kombinasi teknologi sistem tertanam, IoT, data telemetri, cloud computing, protokol komunikasi. Instalasi sensor dimanfaatkan dalam untuk mengumpulkan data area pertanian. Arsitektur yang diusulkan meliputi tiga lapisan, diantaranya: perangkat IoT, *cloud Thingsboard* dan *dashboard*. Sementara itu implementasi algoritma meliputi : pembacaan data sensor, pembuatan *payload* JSON, dan transmisi data telemetri melalui protokol HTTP yang divisualisasikan pada *cloud Thingsboard*. Keputusan aktivasi pompa diatur dengan menggunakan nilai *threshold*, hal ini dilakukan untuk mencegah saluran irigasi secara terus menerus melakukan pengairan. Hasil penelitian menunjukkan sistem penyiraman berbasis IoT, komputasi awan, dan algoritma untuk mengoptimalkan dan meningkatkan produktivitas tanaman dan berkontribusi pada ketahanan pangan dan air global.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian yang diusulkan akan menghasilkan sebuah sistem monitoring kondisi lahan pertanian yang dapat digunakan sebagai media pencatatan parameter kesuburan tanah. Pencatatan parameter unsur hara tanah pada lahan pertanian dilakukan dengan menggunakan sensor multiparameter tanah. Selain itu, Sensor difungsikan untuk mengukur parameter kesuburan tanah, yang meliputi tujuh parameter, yaitu: kadar nitrogen, fosfor, kalium, pH, kelembapan tanah, suhu, yang diukur melalui sifat konduktivitas listrik (EC) pada tanah. Nilai parameter yang diukur Sensor mutiparameter meter mencatat secara berkala dan dikirimkan ke ESP32. Proses dilanjutkan dengan mengirimkan hasil pembacaan data dan akan divisualisasikan menggunakan grafik secara realtime melalui platform web dashboard dengan memanfaatkan peranan jaringan komunikasi internet. Sehingga petani dapat memonitoring kondisi lahan pertaniannya melalui jarak jauh. Informasi yang divisualisasikan pada spreadsheet dan grafik web dashboard, dapat dijadikan sebagai landasan fundamental oleh petani, dalam menentukan waktu pemberian pupuk, penyiraman lahan, serta pemberian vitamin sebagai nutrisi tambahan pada tumbuhan sesuai dengan parameter yang diukur oleh sensor. Hasil pencatatan juga akan direkapitulasi melalui dokumen *spreadsheet* untuk kebutuhan visualisasi data histori proses riwayat pencatatan yang telah dilakukan.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang akan diimplementasi pada proses penelitian dilakukan dengan pendekatan metode eksperimen [15] [16]. Sementara itu, tahapan pelaksanaan penelitian dilakukan dengan mengadopsi System Development Life Cycle (SDLC). Metode SDLC memiliki beberapa mekanisme tahapan diantaranya [17]:

1. Analisis kebutuhan (*Requirement*)

Fase analisis kebutuhan berorientasi pada pemenuhan kebutuhan serta informasi fundamental yang berkaitan dengan perancangan dan pembuatan sistem monitoring multiparameter kesuburan tanah pada lahan pertanian berbasis *Internet of Things*. Hal ini meliputi penggunaan standar dan syarat *interface* sistem, penggunaan *library* sensor RS485 Modbus, ESP32, monitor OLED, yang berkaitan dengan instalasi modul dan integrasi sistem monitoring.

2. Perancangan (*Design*)

Mekanisme pada fase ini meliputi persiapan skematik *wiring diagram*, perancangan dan penyesuaian multiparameter kesuburan tanah pada *platform web dashboard*, skema konfigurasi konektivitas alat dan sistem monitoring dengan jaringan internet, arsitektur sistem monitoring hingga perancangan visualisasi data sesuai dengan deskripsi kebutuhan.

3. Pemrograman (*Development*)

Fase *development* pada pelaksanaan penelitian menguraikan aktivitas instalasi *wiring diagram*, integrasi perangkat pada alat dan sistem serta pemrograman. Proses *development* dilakukan untuk mengadopsi dan mengimplementasikan seluruh informasi yang telah diuraikan pada fase *requirement* dan *design*. Hasil fase berorientasi pada tersedianya *prototype* alat yang telah diintegrasikan dengan sistem dan *source code* yang menjadi bagian dari sistem monitoring multiparameter kesuburan tanah pada lahan pertanian berbasis *Internet of Things*.

4. Pengujian (Testing).

Pengujian berorientasi pada tujuan validasi dan konfirmasi, serta memeriksa sistem monitoring yang telah direalisasikan masih memiliki kekurangan, atau memastikan adanya penambahan fitur atau parameter lainnya yang masih harus dilengkapi pada sistem monitoring.

5. Penempatan (*Deployment*)

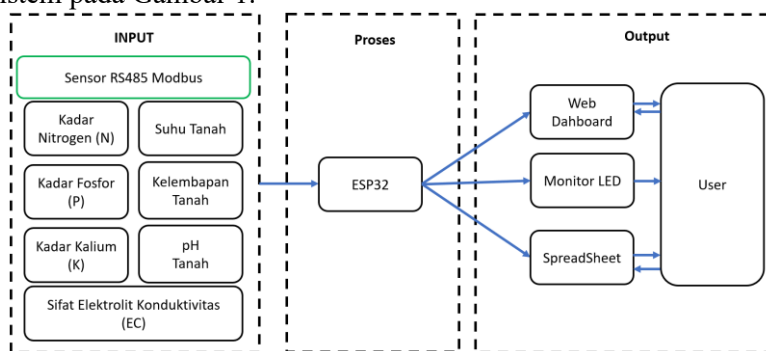
Fase *deployment* menguraikan aktivitas instalasi alat monitoring pada lokasi penelitian yang sebenarnya. Proses instalasi sistem monitoring multiparameter kesuburan tanah pada lahan pertanian berbasis *Internet of Things* mempertimbangkan beberapa hal diantaranya, lokasi instalasi alat harus berada pada area yang minim sinar matahari dan hujan, posisi sumber daya terminal listrik, ketersediaan sumber daya cadangan, posisi dan kedalaman lubang penempatan sensor tanah RS485 Modbus pada area pertanian.

6. Perbaikan (*Maintenance*)

Fase *maintenance* dapat dilakukan secara berkala misalnya perbaikan *error* alat, *bug* sistem, hingga *upgrade* dan *update driver library* hingga penambahan alternatif fitur, dan parameter pengukuran yang dibutuhkan petani sebagai pengguna. Tujuan utama berorientasi pada verifikasi sistem dan alat monitoring berjalan dan bekerja sesuai dengan fase *requirement*.

2.1 Perancangan Alat dan Sistem Monitoring

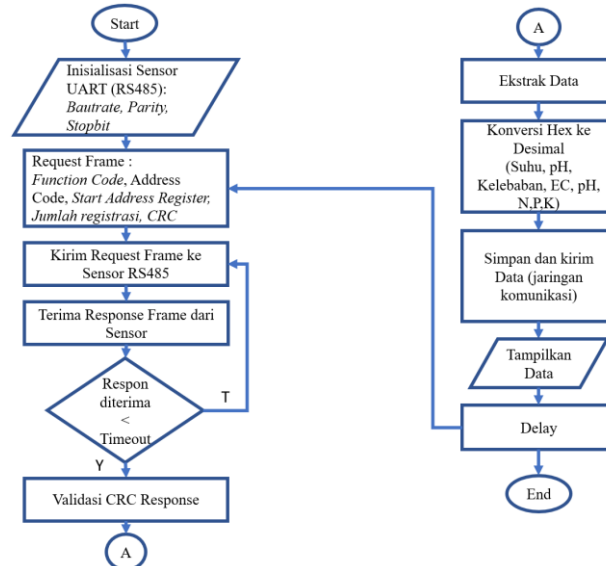
Perancangan alat dan sistem monitoring berorientasi pada analisis integrasi sensor Modbus RS485, ESP32 dan *web dashboard* dalam melakukan pengukuran kesuburan tanah dengan multiparameter, yaitu : unsur nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K) dan beberapa kondisi tanah lainnya yang meliputi pH, kelembapan, suhu, yang diukur melalui parameter sifat elektrolit konduktivitas (EC) tanah. Analisis perancangan pada sistem monitoring dapat diuraikan dalam diagram blok sistem pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Monitoring Multiparameter Kesuburan Berbasis IoT

Proses pengiriman data hasil pengukuran akan dilakukan secara *realtime* dalam interval waktu tertentu. Sehingga seluruh proses pencatatan riwayat hasil pengukuran dapat dijabarkan dan disimpan untuk kebutuhan analisis lebih lanjut. Selain itu, nilai-nilai hasil pengukuran juga

dapat dijadikan sebagai dasar penentuan keputusan dalam melakukan perawatan pada lahan pertanian yang dikelola berdasarkan data yang telah dikumpulkan dalam interval waktu tertentu. Secara detail, diagram proses sistem monitoring multiparameter kesuburan lahan pertanian dapat diilustrasikan melalui Gambar 2.



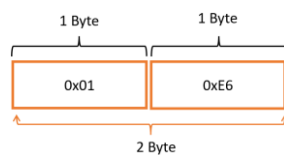
Gambar 2. Flowchart Request dan Response Frame

Sementara itu dalam sistem monitoring multiparameter kesuburan tanah antara petani dan sistem dikoneksikan dengan menggunakan jaringan komunikasi *wireless*. Beberapa tahapan mekanisme pengiriman data dapat diuraikan sebagai berikut:

1. ESP32 mengirimkan *request frame* ke sensor multiparameter kesuburan tanah pada proses RTU dengan menggunakan UART. Sensor merespon permintaan pembacaan data dengan mengirimkan *response frame*, dengan membawa data hasil pengukuran data dengan yang terdiri dari: Kelembaban (%), Suhu (°C), Electrical Conductivity (μS/cm), pH, Nitrogen (mg/kg), Fosfor (mg/kg), dan Kalium (mg/kg)
2. ESP menerima *response frame* yang diberikan sensor multiparameter kesuburan tanah. Selanjutnya ESP akan melakukan proses *parsing* pada data yang diterima
3. Hasil komputasi *parsing* data yang dilakukan ESP32, akan disusun ke dalam format *sting code* yang digunakan pada proses komputasi *subscriber*.
4. Penerimaan data pada *subscriber* dengan menggunakan aplikasi *web* pada *browser*.
5. Melakukan penyimpanan dan visualisasi data hasil pengukuran, dengan menggunakan
 - a. *google sheet* sebagai data *log* histori
 - b. Mini OLED *display* digunakan untuk menunjukkan data secara *realtime* pada area pertanian
 - c. *Web Dashboard* digunakan untuk menampilkan grafik dalam visualisasi secara *realtime*.

2.2 Visualisasi Data Fisik

Data yang dikirimkan oleh sensor akan diterima oleh mikrokontroler melalui *response frame* yang dikirimkan. Setiap parameter terdiri dari 2 *byte* data. Untuk melakukan visualisasi nilai, maka diperlukan proses konversi nilai heksa menjadi format nilai fisik. Pada Tabel 2.4. bagian kelembaban, 2 *byte* data bernilai 0x00 0x6E. Sehingga pemaknaan data dan distribusinya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Komposisi *Response Frame*

Proses konversi fisik nilai dapat dilakukan melalui tahapan-tahapan berikut :

1. Proses konversi dilakukan dengan memisahkan 2 *byte* data, dimana proses pemisahan akan menghasilkan 2 komposisi *byte*, yaitu
 - a. *high byte* mewakili nilai 0x01
 - b. *low byte* mewakili nilai 0xE6.
2. Komputasi konversi heksadesimal menjadi bentuk desimal yang dilakukan secara *bitwise*.
 - a. $0x01 = 1 \times 256 = 256$
 - b. $0xE6 = E(14) \times 16 + 6 = 230$

Penerapan operasi perkalian pada *high byte* dilakukan karena posisinya sebagai *Most Significant Byte* (MSB) dari gabungan 16 bit. Sementara itu, *low byte* berstatus sebagai *Least Significant Byte* (LSB), operasi konversi heksadesimal ke desimal sesuai dengan Persamaan (1)

$$Desimal = \sum_{i=0}^{n-1} (Digit\ Hex\ ke - i) \cdot 16^i \quad (1)$$

Deskripsi :

Desimal : Format bilangan desimal
i : Urutan posisi digit, dimulai dari kanan
 16 : Basis bilangan heksa desimal

3. Penjumlahan hasil operasi konversi Heksadesimal ke Desimal 16-bit, melalui Persamaan (2):

$$Nilai\ Fisik\ (16Bit) = (HByte \times 256) + LByte \quad (2)$$

Deskripsi:

Nilai Fisik (16Bit) : Nilai Gabungan hasil konversi Heksadesimal ke format desimal
HByte : Nilai byte dalam tertinggi
LByte : Nilai byte dalam terendah

4. Penerapan faktor skala sesuai dengan karakteristik sensor pada *spesification datasheet*. Faktor skala pada sensor kelembaban bernilai 0,1. Selain itu, hasil konversi fisik kelembaban direpresentasikan melalui satuan persen (%) dapat dilakukan melalui persamaan (3). Sementara itu, ilustrasi faktor skala dapat dideskripsikan pada Tabel 1.

$$Nilai\ fisik\ Visual\ (\%) = Nilai\ Fisik\ (16-bit) \times Faktor\ Skala \quad (3)$$

Tabel 1. Deskripsi Faktor skala dan Satuan Parameter Kesuburan Tanah

No	Parameter	Faktor Skala	Satuan
1	<i>Moisture</i>	0,1	%
2	<i>Suhu</i>	0,1	°C
3	<i>Electrical Conductivity</i>	1	µs/cm
4	pH tanah	0,01	pH basa/asam
5	Nitrogen (N)	1	mg/kg
6	Phosphorus (P)	1	mg/kg
7	Potassium (K)	1	mg/kg

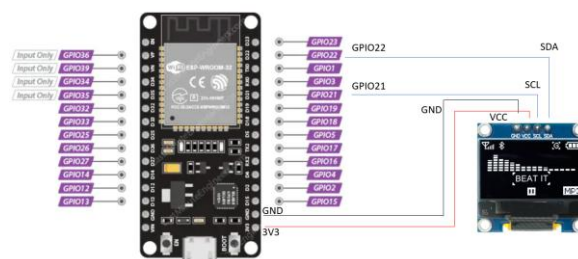
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem monitoring kesuburan multiparameter kesuburan tanah, memanfaatkan sensor tanah yang mampu mengukur parameter kesuburan tanah dengan melalui tujuh parameter tanah. Sensor pengukur kesuburan tanah memiliki identitas model JXBS-3001-TR-RS . Seluruh proses transaksi data yang dilakukan melalui sensor dengan ESP32 sebagai pusat kendali dilakukan dengan menggunakan protokol Modbus RTU. Modbus akan mendeskripsikan penetapan serta penyusunan daftar alamat antara perangkat *master* dan *slave*.

Sementara itu jalur komunikasi yang digunakan selama proses transaksi data menggunakan RS485. Mekanisme komunikasi dilakukan secara serial dengan konsep permintaan data sensor melalui request frame dari ESP32 dan diteruskan dengan menggunakan *response frame* dari sensor. Selanjutnya ESP32 akan memproses data yang diterima dan ditampilkan melalui layar OLED, spreadsheet, serta ditampilkan pada laman *web dashboard*.

3.1. ESP32 dan Mini OLED Display

ESP32 memiliki peran sentral dalam mengatur trafik komunikasi data melalui Modbus RTU ke sensor, serta mendukung fungsi visualisasi data pada display OLED melalui protokol serial Inter-Integrated Circuit (I2C). I2C mengakomodir komunikasi serial dengan menggunakan dua jalur, yakni Serial Clock (SCL) dan Serial Data (SDA) yang terhubung langsung pada *display OLED*, yang didukung dengan sumber daya melalui pin VCC dan GND. Sementara itu, konfigurasi UART yang digunakan dalam mengimplementasikan skema konektifitas perangkat keras memiliki identitas baudrate pada level 9600 bps, dengan mode serial 8E1 (8 bit data, Even parity, 1 stop bit). Konfigurasi ESP32 dan *display OLED* dapat dideskripsikan melalui Gambar 4

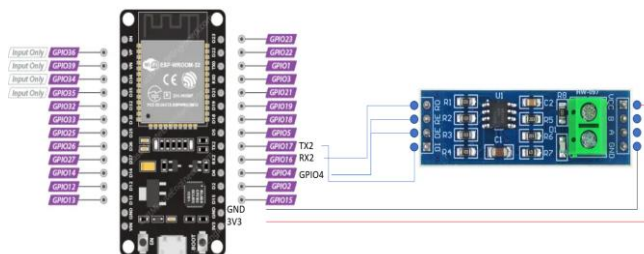


Gambar 4. Visualisasi Integrasi Koneksi ESP32 dan mini OLED

3.3. ESP32 dan MAX TTL 485

Integrasi rangkaian antara ESP32 dan MAX TTL 485 diimplementasikan dalam menerjemahkan sinyal Transistor-Transistor Logic Universal Asynchronous Receiver / Transmitter (TTL UART) dengan interval tegangan yang dihasilkan sebesar 3,3V – 5V yang

berasal dari ESP32 menjadi sinyal diferensial RS-485 untuk transmisi data A dan B pada media komunikasi kabel. Mekanisme ini mendeskripsikan kombinasi antara protokol komunikasi serial (UART) yang disesuaikan dengan level standar tegangan logika TTL. Sehingga data yang dikirimkan secara paralel dapat dikonversi menjadi bentuk serial. Hal ini berlaku untuk operasi *invers* serial ke paralel. Integrasi ESP32 dan MAX TTL RS-485 dapat dilihat pada Gambar 6.

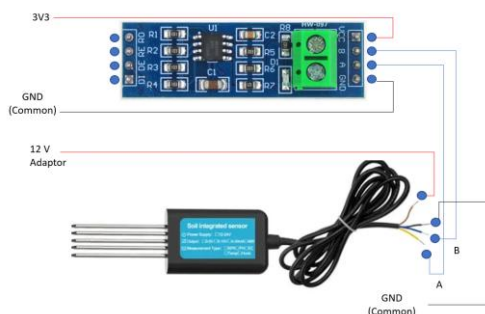


Gambar 5. Visualisasi Integrasi Koneksi ESP32 dan MAX TTL RS-485

Berdasarkan ilustrasi koneksi antara GPIO4 dengan pin DE dan RE mendeskripsikan mode komunikasi *half-duplex* antara ESP32 dan MAX TTL 485. Integrasi antara pin TX dan GPIO4 akan aktif, saat ESP32 melakukan *request* pembacaan data ke sensor multiparameter kesuburan tanah dengan mentransmisikan sinyal *request frame*. Sementara itu, integrasi jalur komunikasi *receiver* akan aktif melalui pin RX dan GPIO4, saat ESP32 menerima balasan respon dari sensor dengan indikasi, ESP32 menerima *response frame* dari sensor multiparameter kesuburan tanah.

3.4. MAX TTL RS-485 dan Sensor Multiparameter Kesuburan Tanah

Sensor multiparameter kesuburan tanah diintegrasikan dengan MAX TTL RS-485 melalui dua koneksi utama dengan dukungan masing-masing suplai daya. Deskripsi integrasi pin antara ESP32 dan MAX TTL RS-485 dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Integrasi Koneksi MAX TTL RS-485 dan Sensor Multiparameter Kesuburan Tanah

Berdasarkan ilustrasi Gambar 7. keberadaan MAX TTL RS-485 berfungsi sebagai penerjemah sinyal TTL dari ESP32 yang berisikan nilai-nilai tegangan menjadi sinyal RS-485 melalui jalur komunikasi A dan B. MAX TTL dan sensor multiparameter kesuburan tanah melakukan komunikasi pentransmisian dan penerimaan transaksi data dengan mengadopsi skema *half-duplex*. Konsep komunikasi ini dilakukan dengan menggunakan menggunakan dua jenis sinyal, yaitu diferensial (+) dan diferensial (-). Sinyal diferensial (+) membawa sinyal logika data dalam fase normal. Sedangkan sinyal diferensial (-) membawa sinyal logika dalam fase *invers*. RS-485 pada prinsipnya tidak mengukur tegangan pada sisi bagian *ground* (GND), melainkan melakukan komputasi selisih tegangan antara titik A dan B. Jalur komunikasi akan

melakukan proses *switch* dengan membandingkan tegangan positif pada masing-masing jalur. Dasar penentuan selisih dilakukan dengan logika perbandingan sebagai berikut :

1. Jika $VA > VB$, dengan perbandingan selisih sebesar +200mV, hasil komputasi logika akan bernilai HIGH (1)
2. Jika $VA < VB$ memiliki selisih perbandingan sekitar -200mV, maka hasil komputasi logika akan bernilai LOW (0)

3.5. Integrasi Sistem Monitoring Multiparameter Kesuburan Tanah berbasis IoT

Pada tahapan awal, sensor multiparameter kesuburan tanah mendeteksi dan melakukan pengukuran parameter yang telah ditetapkan, seperti pH, suhu (temperature), kelembapan volumetrik (moisture), konduktivitas listrik (Electrical Conductivity/EC), serta kandungan unsur hara Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K). Sensor multiparameter kesuburan tanah melakukan pengiriman data hasil pengukuran dengan memanfaatkan peranan protokol Modbus RTU berbasis RS-485. Data hasil pengukuran parameter tanah disimpan dalam bentuk *register* 16-bit. Sehingga ketujuh parameter yang diukur levelnya memiliki alamat register tertentu. Dalam proses pembacaan data yang tersimpan pada masing-masing register parameter kesuburan tanah, langkah awal yang dilakukan adalah dengan memanggil fungsi 0x03. Proses implementasi pemanggilan fungsi 0x03, dilakukan untuk melakukan proses *read holding register*. Jabaran alamat register data parameter tanah dapat dijabarkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Alamat Register Parameter Kesuburan Tanah

No	Parameter Tanah	Register Hex (16-bit)	Register (Dec)
1	pH Tanah	0x0006	6
2	Suhu (Temperatur) Tanah	0x0013	19
3	Kelembaban (<i>Moisture</i>)	0x0012	18
4	EC (Electrical Conductivity)	0x0015	21
5	Nitrogen (N)	0x001E	30
6	Phosphorus (P)	0x001F	31
7	Potassium (K)	0x0020	32

Dalam proses komunikasi data tidak dapat dilakukan secara langsung, sehingga proses komunikasi dilakukan dengan memanfaatkan bantuan modul MAX TTL RS-485. Perannya sebagai penerjemah diferensial dari sensor menjadi sinyal TTL yang dapat dipahami oleh ESP32. Komunikasi antara ESP32 dengan sensor dilakukan dengan menggunakan *baud rate* pada level 9600. Sehingga dalam proses pentransmisian datanya, terdapat 9600 bit yang dikirimkan satuan detik (9600 bps). Komposisi bit yang dikirimkan sudah termasuk, bagian *start bit*, *data parity*, hingga *stop bit*. Sesuai dengan jumlah bit yang dikirimkan dalam satu detik, seluruh bit akan ditransmisikan secara serial. Sementara itu, pada proses pengiriman respon dari sensor menuju ESP32, *response frame* yang dikirimkan akan disusun ke dalam format delapan *byte*, yang terdiri dari alamat *slave*, *function code*, alamat awal *register*, jumlah *register*, serta CRC-16 untuk memastikan data keutuhan data. Sensor akan mengirimkan *frame* yang berisikan data sepanjang 16-bit yang terdiri dari *High byte* (HB) dan *Low byte* (LB) dari setiap parameter. Dalam menghitung nilai visual yang dapat dipahami secara langsung oleh *user*, maka dibutuhkan komputasi dengan menggunakan faktor skala. Nilai faktor skala tersebut akan mendeskripsikan nilai parameter yang diamati secara langsung.

3.6. Komputasi Visualisasi Data Fisik

Setelah proses pengumpulan data hasil pengukuran dilakukan, maka analisis proses pembacaan nilai dapat dilakukan dengan menguraikan komponen komputasinya. Hasil pembacaan data parameter kesuburan sensor tanah dapat diuraikan melalui Tabel 3.

Tabel 3. Sampel Hasil Pembacaan Sensor Multiparameter Kesuburan Tanah

pH	Temp (°C)	EC (μS/cm)	Moist (%)	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)
5.95	29.7	1020	52	72	102	204
5.70	26.7	967	51.9	69	96	193
5.85	28.6	926	51.5	66	92	185
5.90	28.9	798	51	57	79	159
5.75	25.6	635	50.9	45	63	127

Deskripsi data yang diilustrasikan pada Tabel 3, memiliki komponen pokok yang diinisialisasi, sehingga bentuk komputasi untuk memperoleh visualisasi nilai fisik dapat diuraikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Komputasi Sampel Nilai Fisik

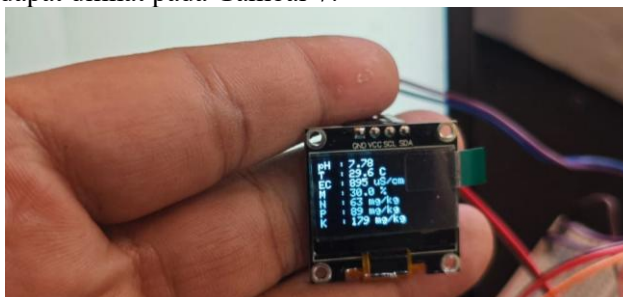
No	Parameter	Nilai (Hex)	Faktor Skala	Nilai Fisik (16-bit)	Nilai Fisik Visual
1	Moisture	0x02 0x08	0,1	$0x02 \times 256 + 0x08 = 520$	$520 \times 0,1 = 52,0\%$
2	Suhu	0x01 0x29	0,1	$0x01 \times 256 + 0x29 = 297$	$297 \times 0,1 = 29,7\text{ }^{\circ}\text{C}$
3	Electrical Conductivity	0x03 0xFC	1	$0x03 \times 256 + 0xFC = 1020$	1020 μS/cm
4	pH tanah	0x02 0x53	0,01	$0x02 \times 256 + 0x53 = 595$	5,95 pH
5	Nitrogen (N)	0x00 0x48	1	$0x00 \times 256 + 0x48 = 72$	72 mg/kg
6	Phosphorus (P)	0x00 0x66	1	$0x00 \times 256 + 0x66 = 102$	102 mg/kg
7	Potassium (K)	0x00 0x30	1	$0x00 \times 256 + 0xCC = 204$	204 mg/kg

3.7. Visualisasi Data Hasil Monitoring

Setelah proses komputasi data secara fisik diperoleh, maka langkah selanjutnya adalah pendistribusian data ke berbagai media visualisasi yang telah ditetapkan, yaitu : *spreadsheet document*, *mini OLED display*, dan visualisasi *web view*. Pada tahapan awal ESP32 akan mendistribusikan pengiriman nilai data fisik pada layar *mini OLED display* melalui *interface I2C*. Tampilan pada *mini OLED display* dapat melakukan pemantauan dan monitoring kondisi tanah tanpa bantuan jaringan internet secara langsung pada perangkat sistem monitoring.

Sementara itu, dalam proses monitoring jarak jauh, *user* dapat memanfaatkan tampilan *spreadsheet* sebagai media visualisasi data parameter tanah. Hasil pembacaan *document spreadsheet* dilakukan dengan memanfaatkan fitur *google apps script web app*, dengan mengimplementasikan metode HTTP *get* melalui protokol HTTP. Pada proses konfigurasinya, ESP akan melakukan penyusunan URL pada lembar *document* dan menuliskan parameter-parameter kesuburan tanah disertai dengan pencatatan *timestamp*, sehingga data dapat diakses serta diolah sesuai dengan kebutuhan pengguna setiap 15 detik.

Secara keseluruhan sistem monitoring multiparameter kesuburan tanah, mendeskripsikan struktur siklus yang tertutup. Hal ini ditandai dengan adanya proses pengukuran data melalui lingkungan (data *sensing*), transmisi data (data *acquisition*), pemrosesan dan konversi (data *processing*), hingga visualisasi data hasil pengukuran (data *visualization*). Siklus ini akan terus berulang dan akan terus mengalami *update* setiap 15 detik sekali. Ilustrasi visualisasi data melalui mini OLED *display*, dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Visualisasi Data Mini OLED Display

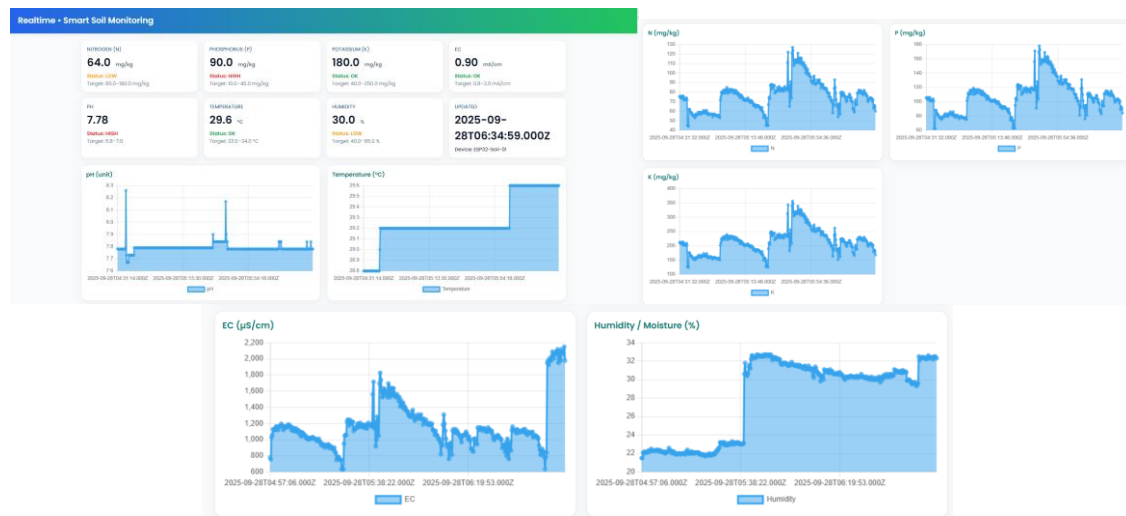
Pada visualisasi tampilan mini OLED *display*, memiliki visualisasi data yang berasal dari ketujuh parameter. Penulisan parameter pada mini OLED dilakukan dengan mempersingkat penggunaan kata. Sesuai dengan tampilan Gambar 4.4. yang meliputi pH, T (suhu (°C)), M (kelembapan tanah (%)), konduktivitas listrik (EC), serta konsentrasi unsur hara N-P-K (mg/kg). Hal ini dilakukan karena keterbatasan ruang tulis yang terdapat pada mini OLED *display*. Selain itu, opsi histori data juga dicatatkan dalam dokumen *spreadsheet*. Hal ini dilakukan sebagai bagian pertimbangan *user* untuk melihat riwayat kondisi tanah yang dimonitoring. Ilustrasi visualisasi data dengan menggunakan *spreadsheet* dapat diilustrasikan pada Gambar 4.5.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Timestamp	pH	Temp (°C)	EC (µS/cm)	Moist (%)	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Device
1	2025-09-28 11:04:36	6.25	28.8	1196	29.9	83	117	234	ESP32-Soil-01
2	2025-09-28 11:04:58	6.25	28.8	1173	30	83	117	234	ESP32-Soil-01
3	2025-09-28 11:05:18	6.25	28.8	1185	30.1	84	118	237	ESP32-Soil-01
4	2025-09-28 11:05:38	6.78	28.8	1490	17.9	100	141	282	ESP32-Soil-01
5	2025-09-28 11:05:59	6.53	28.8	1458	18.4	101	142	285	ESP32-Soil-01
6	2025-09-28 11:06:19	6.44	28.8	1296	18.5	92	129	259	ESP32-Soil-01
7	2025-09-28 11:06:41	6.51	28.8	880	16.2	62	88	176	ESP32-Soil-01
8	2025-09-28 11:07:01	6.37	28.8	873	16.7	61	86	173	ESP32-Soil-01
9	2025-09-28 11:07:22	6.33	28.8	804	16.9	57	80	160	ESP32-Soil-01
10	2025-09-28 11:07:44	6.31	28.8	902	16.9	64	90	180	ESP32-Soil-01
11	2025-09-28 11:08:02	6.29	28.8	958	16.9	67	94	188	ESP32-Soil-01
12	2025-09-28 11:08:21	6.27	28.8	967	17	69	97	195	ESP32-Soil-01
13	2025-09-28 11:08:42	6.27	28.8	984	16.9	70	98	196	ESP32-Soil-01
14	2025-09-28 11:09:02	6.24	28.8	1011	16.9	72	101	202	ESP32-Soil-01
15	2025-09-28 11:09:24	6.24	28.8	984	17	70	98	196	ESP32-Soil-01
16	2025-09-28 11:09:43	6.22	28.8	975	17	69	97	195	ESP32-Soil-01
17	2025-09-28 11:10:03	6.22	28.8	1067	16.9	74	104	209	ESP32-Soil-01
18	2025-09-28 11:10:24	6.2	28.8	1087	16.9	77	108	219	ESP32-Soil-01
19	2025-09-28 11:10:57	6.2	28.8	1097	17	78	109	217	ESP32-Soil-01
20	2025-09-28 11:11:18	6.2	28.8	1097	17	78	109	219	ESP32-Soil-01
21	2025-09-28 11:11:38	6.2	28.8	1097	16.9	77	108	217	ESP32-Soil-01
22	2025-09-28 11:11:56	6.2	28.8	1150	16.9	82	115	230	ESP32-Soil-01
23	2025-09-28 11:12:18	6.2	28.8	1108	16.9	79	110	221	ESP32-Soil-01
24	2025-09-28 11:12:37	6.2	28.8	1118	16.9	77	108	217	ESP32-Soil-01

Gambar 8. Visualisasi Data Dokumen Spreadsheet

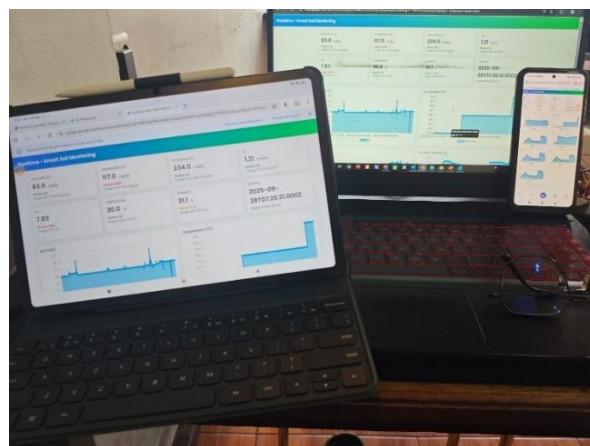
Berdasarkan tampilan Gambar 8. dokumen *spreadsheet* difungsikan sebagai repositori data longitudinal dengan struktur yang telah disusun sesuai dengan parameter kesuburan tanah. Selain itu, kumpulan data yang telah dihimpun dapat digunakan sebagai dasar analisis secara kuantitatif. Sementara itu, visualisasi data *realtime* disertai dengan grafik juga ditampilkan melalui mekanisme *web view*. Tampilan halaman *web dashboard* disajikan dalam dua *layer*

visualisasi yang meliputi : panel indikator untuk data *realtime* akhir, dan tujuh grafik histori yang memuat data hasil pengukuran. Ilustrasi pada Gambar 9.



Gambar 9. Visualisasi Data Web View

Sistem membuktikan bahwa kombinasi *node* IoT ke *Google Apps Script/Spreadsheet* diakhiri dengan *Web Dashboard* mampu menyediakan pencatatan longitudinal yang reliabel serta pemantauan mendekati *realtime* melalui mekanisme *JSON polling* tanpa memuat ulang halaman. Keberadaan mini OLED efektif sebagai kanal *field-readout* yang cepat, *Spreadsheet* sebagai *data store* yang dapat diaudit dan dianalisis, serta *dashboard* sebagai lapis *insight* dengan KPI (*ok/low/high*) dan tujuh grafik deret waktu, menghasilkan ekosistem visual data yang diukur. Tampilan uji akses beberapa *device* pada sistem monitoring multiparameter kesuburan tanah, dapat dilihat melalui Gambar 4.7.



Gambar 10. Tampilan Akses Perangkat Pada Web Dashboard

Secara fungsional, sistem memenuhi tujuan: akuisisi dan validasi tujuh parameter dengan *timestamp* yang dapat digunakan sebagai dasar waktu pencatatan data parameter kesuburan tanah, transmisi dan penulisan data yang stabil memanfaatkan **LockService** untuk menghindari adanya tabrakan data, dan visualisasi yang informatif keputusan lapangan maupun analisis agronomis. Desain ini menurunkan kompleksitas infrastruktur melalui skema tabel standar dan

pemisahan antara *data layer* dan *presentation layer*. Sistem memberikan landasan operasional untuk: pemantauan tren harian, deteksi dini anomali, evaluasi intervensi untuk mendukung irigasi atau bahkan pemupukan, dan pengelolaan multi-perangkat melalui *device filter*.

4. KESIMPULAN

Penelitian berorientasi pada perancangan dan implementasi sistem monitoring multiparameter kesuburan tanah berbasis IoT. Pengukuran parameter kesuburan tanah meliputi, N, P, K, EC, pH, suhu dan kelembaban tanah dengan visualisasi data melalui media mini OLED display, spreadsheet, dan web dashboard. Hasil perancangan yang dilakukan, sistem mampu mengakuisisi data tujuh parameter kesuburan tanah, mengirimkan serta memvisualisasikan data secara realtime. Pengiriman data yang visualisasi dari sensor multiparameter kesuburan tanah dilakukan secara half-duplex yang ditandai dengan pengiriman request frame dari ESP32, kemudian dilanjutkan dengan pengiriman response frame dari sensor. Selanjutnya pengiriman data hasil pengukuran yang berasal dari sensor berupa sinyal diferensial, sehingga MAX TTL RS485 akan mengubahnya menjadi sinyal TTL yang dapat diterjemahkan dalam sinyal gelombang 3,3 V yang masuk pada pin GPIO4. ESP yang menerima hasil pengukuran akan mendistribusikan hasil pembacaan sensor ke berbagai media visualisasi melalui OLED display, spreadsheet, dan web dashboard.

Hasil pengujian yang dilakukan integrasi rangkaian dan sistem visualisasi berjalan dengan baik, hal ini ditandai dengan tidak ada perbedaan data hasil pengukuran yang diterima oleh masing-masing media visualisasi. Ketiga media visualisasi data memberikan pilihan pada petani dalam memilih opsi untuk melihat deret, pola hingga tren data yang dihasilkan melalui proses monitoring. Sementara itu, pengembangan dan peningkatan dapat dilakukan pada penambahan WebSocket untuk keperluan pencatatan data secara *realtime* dan *scalability*, penambahan mekanisme autentikasi atau otorisasi, integrasi *alerting* untuk menentukan *threshold* atau derivative change, serta modul analitik lanjutan, korelasi antar parameter, dan rekomendasi pemupukan yang ditambahkan berbasis aturan atau model. Dengan langkah tersebut, sistem berpotensi menjadi platform pemantauan kesuburan tanah yang dilengkapi dengan aspek keamanan, dan prediktif untuk mendukung praktik pertanian presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Rizon, B. A. Serawai, M. Romdhon, S. P. Utama, and D. S. Lucia, "Menakar Pertanian Anorganik Dan Keberlanjutan Lingkungan Hidup Di Indonesia ' Sebuah Kajian Kritis ,'" vol. 1, no. 2, pp. 33–40, 2025.
- [2] I. Fatimatuzzahra, F. E. A. Utami, and A. Mardiyah, "Review Literatur melalui Publish or Perish pada Pembuatan Pupuk Organik Cair sebagai Alternatif Proyek dalam Kurikulum Merdeka," *Soc. Humanit. Educ. Stud. Conf. Ser.*, vol. 7, no. 4, pp. 290–306, 2023.
- [3] S. Nuchhi, V. Bagali, and S. Annigeri, "IoT Based Soil Testing Instrument For Agriculture Purpose," in *2020 IEEE Bangalore Humanitarian Technology Conference (B-HTC)*, 2020, pp. 1–4. doi: 10.1109/B-HTC50970.2020.9297897.
- [4] J. Wang, Z. Liu, X. Yang, M. Li, and Z. Lyu, "The Internet of Things under Federated Learning: A Review of the Latest Advances and Applications," *Comput. Mater. Contin.*, vol. 82, no. 1, pp. 1–39, 2025, doi: <https://doi.org/10.32604/cmc.2024.058926>.
- [5] I. Markit, "Number of connected iot devices will surge to 125 billion by 2030," *numberconnected-iot-devices-will-surge-125-billion-2030-ihsmarkit-say*, 2020.
- [6] L. Syed, "Smart Agriculture using Ensemble Machine Learning Techniques in IoT

- Environment,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 235, pp. 2269–2278, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.04.215>.
- [7] V. Kumar, K. Vaibhav, N. Kedam, A. Patel, T. Ram, and U. Rathnayake, “Smart Agricultural Technology A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies,” *Smart Agric. Technol.*, vol. 8, no. February, p. 100487, 2024, doi: 10.1016/j.atech.2024.100487.
- [8] J. Aliparo *et al.*, “IoT-based Assessment and Monitoring of NPK Content and Fertility Condition of Soil,” in *TENCON 2022 - 2022 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, 2022, pp. 1–6. doi: 10.1109/TENCON55691.2022.9978040.
- [9] G. S. Pravallika, L. Kundana, K. S. Thanvi, G. Sirisha, and C. Rupa, “Proficient Smart Soil based IoT System for Crop Prediction,” in *2020 Second International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)*, 2020, pp. 752–757. doi: 10.1109/ICIRCA48905.2020.9183054.
- [10] M. Idris, “Terlalu Banyak Pupuk Kimia, 72 Persen Lahan Pertanian RI Kini Kritis,” 2022.
- [11] H. M. Kaidi *et al.*, “Internet of Things : A Monitoring and Control System for Rockmelon Farming,” vol. 6, pp. 55–61, 2020.
- [12] A. Mahmudin, K. Auliasari, F. T. Industri, and I. O. Things, “Penerapan IoT (Internet of Thing) Terhadap Sistem Pendeteksi Kesuburan Tanah Pada Lahan Perkebunan,” vol. 4, no. 2, pp. 207–213, 2020.
- [13] R. R. Wijayanti *et al.*, “Implementasi Internet Of Things Pada Monitoring Kesuburan,” vol. 7, no. 1, pp. 97–103, 2023.
- [14] A. Morchid, R. Jebabra, H. M. Khalid, R. El, H. Qjidaa, and M. Ouazzani, “Results in Engineering IoT-based smart irrigation management system to enhance agricultural water security using embedded systems , telemetry data , and cloud computing,” *Results Eng.*, vol. 23, no. July, p. 102829, 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.102829.
- [15] M. Ismail, R. K. Abdullah, and S. Abdussamad, “Tempat Sampah Pintar Berbasis Internet of Things (IoT) Dengan Sistem Teknologi Informasi,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 7–12, 2021.
- [16] S. Abdussamad, “Rancang Bangun Inverter Mini 1.5 Vdc to 220 Vac Untuk Lampu Darurat,” *J. Tek.*, vol. 18, no. 1, pp. 7–16, 2020.
- [17] E. Alfonsius, W. W. Kalengkongan, and S. C. W. Ngangi, “Sistem Monitoring Dan Kontroling Prototype Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis IoT (Internet Of Things),” *J. Teknoinfo*, vol. 18, no. 1, pp. 44–55, 2024.