

Implementasi *Internet Of Things* Untuk Pertanian Cerdas di Geopark Ciletuh Sukabumi

¹Darusman, ²Fauziya Bagawat Sari

¹Ilmu Komputer; Universitas Nusa Mandiri; Kota Jakarta Timur

²Teknik Perencanaan Wilayah dan Kota; Universitas Krisnadwipayana, Kota Bekasi, Jawa Barat

Abstract - This study aims to design and build an *Internet of Things* (IoT) system to optimize smart farming in Ciletuh Sukabumi Geopark using the Network Development Life Cycle (NDLC) method, where the system developed consists of a soil moisture sensor, NodeMCU-ESP8266, wireless router, IoT server, and real-time monitoring website that allows real-time soil moisture monitoring, with data sent automatically from the sensor to the server and displayed via the website to assist farmers in data-based decision making to optimize irrigation, reduce water waste, and reduce the risk of crop failure, so that the application of IoT not only increases the efficiency of monitoring soil conditions without manual checking in the field, but can also be further developed to include various other environmental parameters, such as temperature and rainfall, to increase agricultural productivity, so that the implementation of IoT in smart farming is proven to increase the efficiency of soil monitoring, support sustainable agriculture, and optimize water resource management, which with further development has the potential to be applied in other areas to support technology-based agriculture.

Keywords : IoT; Smart Farming; Soil Moisture; Ciletuh Geopark; Smart Farming

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem *Internet of Things* (IoT) guna mengoptimalkan pertanian cerdas di Geopark Ciletuh Sukabumi menggunakan metode Network Development Life Cycle (NDLC), di mana sistem yang dikembangkan terdiri dari sensor kelembaban tanah, NodeMCU-ESP8266, router nirkabel, server IoT, dan website pemantauan real-time yang memungkinkan pemantauan kelembaban tanah secara real-time, dengan data yang dikirim secara otomatis dari sensor ke server serta ditampilkan melalui website untuk membantu petani dalam pengambilan keputusan berbasis data guna mengoptimalkan irigasi, mengurangi pemborosan air, serta menekan risiko gagal panen, sehingga penerapan IoT ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pemantauan kondisi tanah tanpa pengecekan manual di lapangan, tetapi juga dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mencakup berbagai parameter lingkungan lainnya, seperti suhu dan curah hujan, guna meningkatkan produktivitas pertanian, sehingga implementasi IoT dalam pertanian cerdas terbukti meningkatkan efisiensi pemantauan tanah, mendukung pertanian berkelanjutan, serta mengoptimalkan pengelolaan sumber daya air, yang dengan pengembangan lebih lanjut berpotensi diterapkan di wilayah lain untuk mendukung pertanian berbasis teknologi.

Kata Kunci : IoT; Pertanian Cerdas; Kelembaban Tanah; Geopark Ciletuh; Smart Farming

I. Pendahuluan

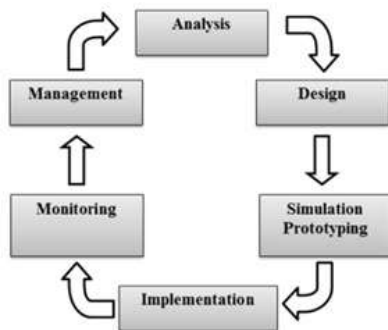
Indonesia merupakan negara dengan banyak kapasitas sumber daya alam dan memiliki iklim tropis yang terdiri dari dua musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau. Kondisi iklim ini sangat mempengaruhi ketersediaan air, yang berdampak langsung pada sektor pertanian [1][2][3]. Pada musim kemarau, berkurangnya curah hujan dapat menyebabkan kekeringan, mengurangi ketersediaan air untuk irigasi, serta meningkatkan risiko gagal panen. Sebaliknya, selama musim hujan, kelebihan air yang tidak terkelola dengan baik dapat menyebabkan erosi tanah, penurunan kualitas lahan, serta potensi banjir, yang berdampak negatif terhadap hasil pertanian [4][5][6]. Kemajuan teknologi saat ini telah memberikan berbagai solusi inovatif untuk mengatasi tantangan di sektor pertanian. Salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah *Internet of Things* (IoT) [7][8][9]. Dalam konteks pertanian, IoT memungkinkan pemantauan berbagai parameter lingkungan, seperti kelembaban tanah, suhu, dan kondisi cuaca secara real-time, sehingga petani dapat mengambil keputusan berdasarkan data yang lebih akurat dan efisien [10][11][12]. Namun, hingga saat ini, penerapan teknologi IoT dalam pemantauan kelembaban tanah di Indonesia masih terbatas, terutama di kawasan Geopark Ciletuh Sukabumi, yang memiliki potensi besar dalam sektor pertanian dan pariwisata.

Geopark Ciletuh di Sukabumi merupakan salah satu daerah yang memiliki keunikan geologis, keanekaragaman hayati, serta warisan budaya, menjadikannya sebagai kawasan yang dilindungi dan dikelola secara berkelanjutan oleh Pemerintah Kabupaten Sukabumi [13][14][15]. Dengan luas sekitar 126.100 hektar, wilayah ini memiliki tantangan dalam pengelolaan sumber daya pertanian, terutama dalam aspek penggunaan air yang efisien. Saat ini, sebagian besar petani di Geopark Ciletuh masih menggunakan metode konvensional dalam pemantauan kelembaban tanah, yang kurang efisien dan tidak berbasis data *real-time* [16][17][18]. Penelitian ini terletak pada kebutuhan akan sistem pemantauan kelembaban tanah yang lebih otomatis, akurat, dan efisien, guna meningkatkan produktivitas pertanian dan mengurangi risiko gagal panen. penelitian yang ada menunjukkan bahwa meskipun banyak penelitian telah membahas manfaat IoT dalam sektor pertanian, belum ada implementasi spesifik IoT yang dikembangkan untuk kondisi geografis Geopark Ciletuh. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem berbasis IoT yang mampu melakukan pemantauan kelembaban tanah secara real-time, menyimpan data dalam

database, serta menampilkannya melalui website yang mudah diakses oleh petani. Dengan sistem ini, petani dapat mengoptimalkan penggunaan air, mengurangi pemborosan, serta meningkatkan efisiensi pengelolaan lahan pertanian di Geopark Ciletuh. Selain itu, sistem ini berpotensi untuk diterapkan pada wilayah lain yang memiliki tantangan serupa dalam pengelolaan sumber daya pertanian. Implementasi IoT dalam pertanian cerdas diharapkan dapat menjadi solusi inovatif yang mendukung pertanian berkelanjutan serta meningkatkan kesejahteraan petani di kawasan Geopark Ciletuh Sukabumi [19][20][21].

II. Metode Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan metode *network development life cycle*. Desain jaringan komputer NDLC adalah untuk menentukan siklus proses pengembangan atau pengembangan jaringan komputer. Pengembangan sistem jaringan yang secara eksplisit menggambarkan seluruh proses dan fase pengembangan sistem jaringan. Implementasi ini bertujuan untuk mendukung infrastruktur teknologi informasi di kawasan Geopark Ciletuh Sukabumi, memastikan konektivitas yang handal, dan meningkatkan aksesibilitas informasi bagi pengunjung serta pengelola [22].



Gambar 1 Network Development Life Cycle (NDLC)

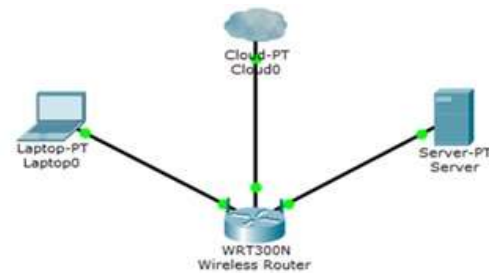
A. Analisis (Analysis)

Dalam penelitian ini, peneliti merancang dan mengembangkan sistem pemantauan kelembaban tanah berbasis Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan efisiensi pertanian di Geopark Ciletuh Sukabumi. Sistem yang dikembangkan terdiri dari sensor kelembaban tanah yang terhubung dengan NodeMCU-ESP8266, router nirkabel sebagai media komunikasi, serta server IoT yang menyimpan dan menampilkan data secara real-time melalui website. Dengan sistem ini, petani tidak lagi perlu melakukan pemantauan manual menggunakan alat seperti hygrometer, yang memerlukan waktu dan tenaga lebih. Sebagai gantinya, data kelembaban tanah dapat diakses secara otomatis dan terpusat, memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat dalam pengelolaan irigasi. Penelitian ini juga mempertimbangkan tantangan geografis Geopark Ciletuh, sehingga sistem dirancang agar dapat beroperasi secara efisien

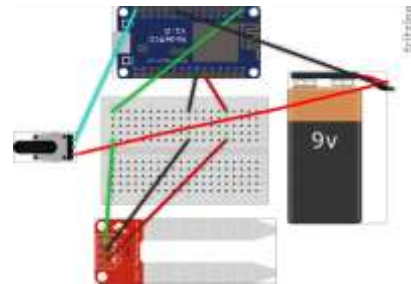
di wilayah tersebut, memberikan solusi inovatif bagi pertanian cerdas berbasis teknologi..

B. Perancangan (Design)

Perancangan jaringan topologi yang dibuat untuk optimalisasi pertanian cerdas diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kebutuhan yang ada, terutama di wilayah seperti Geopark Ciletuh Sukabumi. Setelah sistem dikembangkan untuk komunikasi antara server dan klien, penulis memantau area pertanian dan merancang jaringan yang ada yang dapat digunakan untuk memudahkan petani memantau kelembaban tanah dengan pemindahan yang substansial. Pada pembuatan jaringan Internet of Things (IoT) ini, digunakan tipe jaringan client-server. Perangkat yang digunakan dalam jaringan ini, yaitu jaringan internet, server, router nirkabel, laptop yang digunakan untuk komunikasi antara server dan klien. Server akan menerima data yang dikirim oleh wireless router dan menampilkannya secara website. Implementasi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas pemantauan kondisi pertanian di Geopark Ciletuh Sukabumi.



Gambar 2 Topologi Jaringan Internet Of Thing (IOT)

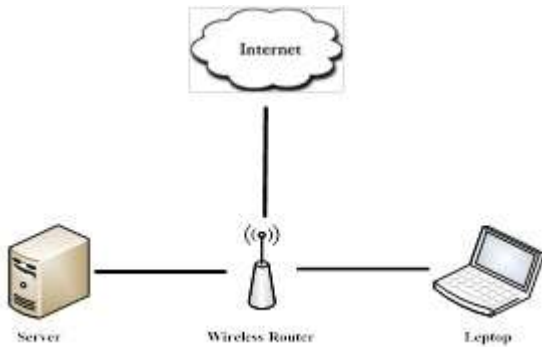


Gambar 3 Perancangan ESP dan Soil Moisture

C. Simulasi (Simulation Prototyping)

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan utama untuk mengoptimalkan pertanian cerdas berbasis Internet of Things (IoT) di Geopark Ciletuh Sukabumi. Pertama, dilakukan perancangan jaringan IoT menggunakan topologi star, di mana server menerima data dari sensor melalui wireless router. Selanjutnya, sensor kelembaban tanah yang terhubung dengan NodeMCU-ESP8266 dipasang di lahan pertanian untuk mengirim data real-time ke server, yang kemudian disimpan dalam database. Kemudian pengembangan website pemantauan agar petani dapat mengakses data kelembaban

tanah secara *real-time* dalam bentuk grafik dan tabel. Dan dilakukan pengujian dan validasi untuk memastikan sistem bekerja dengan baik, akurat, dan efisien. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini mampu meningkatkan efisiensi pemantauan kelembaban tanah, membantu petani dalam pengelolaan irigasi, serta mengoptimalkan produktivitas pertanian berbasis teknologi.



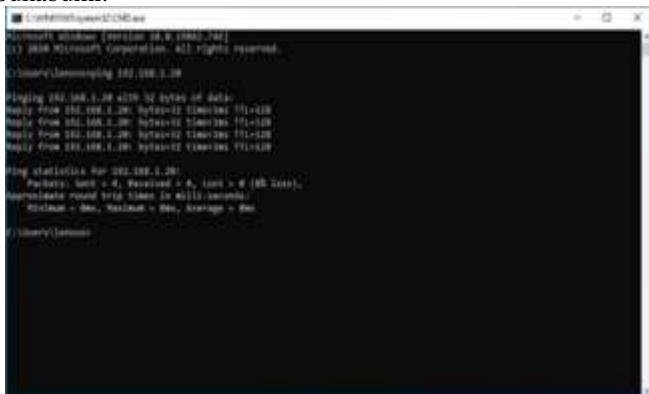
Gambar 4 Topologi Star Internet Of Thing (IOT)

D. Penerapan (Implementation)

Implementasi ini juga mencakup pembuatan web server sebagai penyimpanan data dari beberapa sensor soil moisture untuk komunikasi. Server membantu mengambil beberapa informasi atau data dari alat yang terhubung ke server, memungkinkan petani untuk dengan mudah memantau dan mengelola kelembaban tanah di berbagai daerah pertanian.

E. Pengawasan (Monitoring)

Pengawasan merupakan tahap kritis, komunikasi jaringan Internet of Things (IoT) dapat dilakukan pada tahap awal analisis, sesuai dengan keinginan pengguna dan tujuan awal. Oleh karena itu perlu melakukan kegiatan pemantauan. Setelah komputer terkoneksi, maka bisa dipastikan dengan melakukan ping koneksi ke server menggunakan command prompt. Monitoring ini memastikan bahwa semua perangkat berfungsi dengan baik dan data dari sensor soil moisture dapat dikirim dan diterima dengan lancar oleh server di Geopark Ciletuh Sukabumi.



Gambar 5 Monitoring Koneksi Dari Client Ke Server

F. Manajemen (Management)

Management atau pengaturan merupakan tahapan yang diperlukan karena terkait kebijakan yang perlu dibuat untuk pengujian NodeMCU ESP8266 pada serial monitor. Tes ini dilakukan untuk memeriksa apakah sistem dapat dihubungkan ke WLAN dan server. Pengujian konfigurasi NodeMCU ESP8266 pada serial monitor dapat dilihat pada gambar berikut, yang menunjukkan hasil koneksi dan data yang diterima dari sensor soil moisture di Geopark Ciletuh Sukabumi.



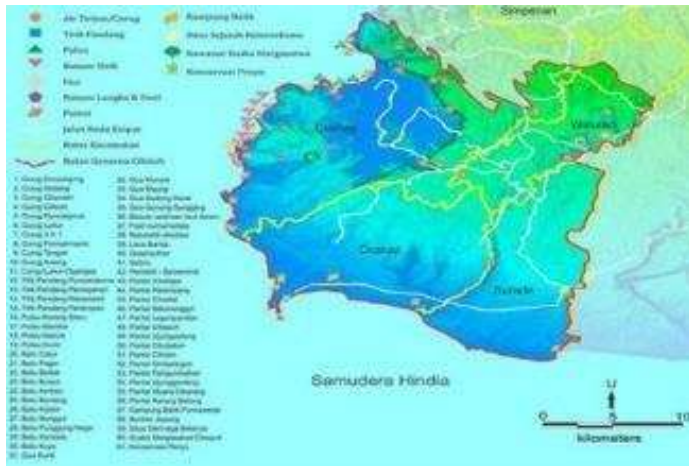
Gambar 6 Pengujian NodeMCU ESP8266

III. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem Internet of Things (IoT) yang dikembangkan untuk pemantauan kelembaban tanah di Geopark Ciletuh Sukabumi telah berhasil berfungsi sesuai dengan perancangan. Sistem ini dimulai dengan input data dari sensor kelembaban tanah, yang secara otomatis mendeteksi kadar kelembaban tanah dan mengirimkan data ke NodeMCU-ESP8266. Data tersebut kemudian ditransmisikan secara *real-time* ke server melalui jaringan nirkabel, menggunakan wireless router sebagai media komunikasi. Setelah sampai di server, data ini disimpan dalam database, sehingga dapat digunakan untuk pemantauan dan analisis lebih lanjut. Hasil dari metode yang telah diterapkan menunjukkan bahwa sistem ini berhasil mengotomatiskan proses pemantauan kelembaban tanah, yang sebelumnya dilakukan secara manual dengan alat seperti hygrometer. Implementasi ini memungkinkan petani untuk mengakses data secara *real-time* melalui website, tanpa harus datang langsung ke lahan pertanian. Konfigurasi alamat IP yang diterapkan memastikan bahwa sistem dapat diakses dari berbagai perangkat yang terhubung ke jaringan, sehingga meningkatkan fleksibilitas dalam pemantauan.

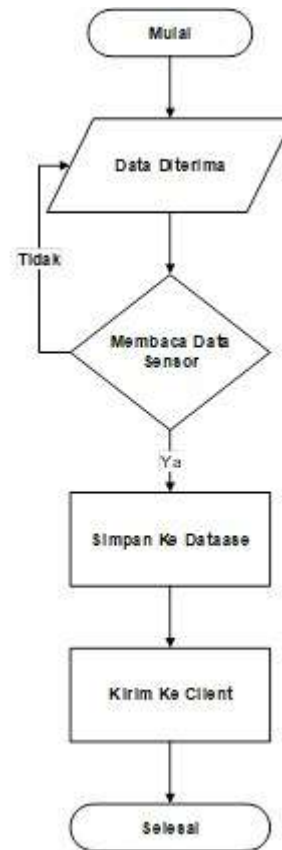
Pengujian yang dilakukan membuktikan bahwa sistem ini beroperasi dengan stabil dan akurat. Pengujian struktural menunjukkan bahwa komunikasi antara sensor, server, dan website berjalan lancar tanpa gangguan transmisi data. Pengujian fungsional memastikan bahwa data yang dikirim oleh sensor sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Sementara itu, pengujian validasi membuktikan bahwa sistem dapat bekerja secara efisien dalam berbagai kondisi lingkungan, termasuk pada wilayah dengan tantangan geografis seperti Geopark Ciletuh Sukabumi. Selain itu, hasil pengujian web server menunjukkan bahwa data kelembaban tanah dapat diakses dengan mudah melalui website, dengan tampilan grafik

dan tabel yang informatif untuk membantu petani dalam mengambil keputusan terkait irigasi. Dengan diterapkannya metode ini, efisiensi pemantauan kelembaban tanah meningkat secara signifikan, memungkinkan petani untuk menghemat waktu dan tenaga dalam mengelola irigasi. Implementasi IoT dalam sistem ini tidak hanya membantu mengurangi risiko gagal panen, tetapi juga mendukung pengelolaan lahan pertanian yang lebih efektif dan berkelanjutan, khususnya di kawasan Geopark Ciletuh Sukabumi.



Gambar 7 Hasil Penelitian

Gambar di atas merupakan peta dari Geopark Ciletuh Sukabumi yang terletak di Jawa Barat, Indonesia. Peta ini mencakup fitur-fitur dasar seperti jalan utama, area pertanian, tempat wisata kunci, dan sumber daya alam. Jalan utama ditandai dengan garis-garis yang jelas, menunjukkan rute transportasi utama di sekitar Geopark, sementara area pertanian menggunakan berbagai warna untuk mengindikasikan jenis tanaman dan penggunaan lahan yang berbeda. Tempat wisata kunci seperti air terjun, jalur hiking, dan platform pandang ditandai dengan simbol khusus, serta sumber daya alam seperti sungai dan hutan digambarkan dengan simbol. Peta ini juga menampilkan detail kontur topografi untuk menunjukkan ketinggian dan bentuk tanah, dengan gunung utama di tengah yang menonjol. Infrastruktur seperti router nirkabel dan server untuk pemantauan kelembaban tanah menggunakan teknologi IoT juga ditampilkan, bersama dengan simbol-simbol kecil yang menunjukkan lokasi sensor kelembaban tanah di area pertanian. Beragam warna digunakan untuk membedakan jenis lahan, seperti warna hijau tua untuk hutan dan konservasi, serta biru untuk area perairan. Selain itu, terdapat inset map kecil di sudut yang menunjukkan lokasi Geopark Ciletuh dalam konteks wilayah Indonesia, memudahkan penonton untuk memahami letaknya secara geografis. Peta ini memberikan gambaran menyeluruh tentang Geopark Ciletuh Sukabumi, dengan fokus pada fitur-fitur alam dan infrastruktur yang mendukung kegiatan wisata dan pertanian di daerah tersebut.



Gambar 8 Flowchart Cara Sistem

Pada gambar tersebut flowchart cara kerja sistem, mulai data akan diterima oleh server melalui media transmisi Internet Of Thing (IoT). Proses pembacaan data sensor jika (tidak), kembali ke data diterima jika (ya), data pembacaan sensor akan disimpan ke database. Kemudian dikirim ke client dan selesai. Sistem di Geopark Ciletuh bekerja dalam mengelola data yang diterima dari sensor, menyimpannya, dan mengirimkannya ke client. Setiap langkah memiliki proses spesifik yang memastikan data diterima dengan benar dan digunakan secara efektif.

A. Desain Model

Hasil desain model internet of thing (IoT) pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9 Desain Model Optimisasi Pertanian Cerdas

Berdasarkan pada gambar tersebut keseluruhan desain model lahan pertanian di Geopark Ciletuh Sukabumi, maka dapat disimpulkan tentang cara kerja penelitian yang akan dibuat.

- Sensor kelembaban tanah untuk mengukur kelembaban tanah. Sensor kelembaban tanah kemudian memberikan nilai output dalam bentuk listrik sebagai akibat dari air di antara pelat kapasitor sensor. Sensor kelembaban ini mengirimkan data sensor ke NODEMCU-ESP8266.
- NODEMCU-ESP8266 digunakan sebagai klien untuk terhubung ke jaringan nirkabel dan mengirimkan data dari sensor kelembaban tanah melalui Internet of Things Network (IoT).
- Wireless Router digunakan sebagai media komunikasi data yang dikirim melalui NodeMCU-ESP8266 yang terhubung ke jaringan Internet of Things (IoT).
- Server akan menerima dan menampilkan data yang dikirim melalui Internet of Things (IoT) kemudian disimpan ke database.
- Laptop digunakan untuk memonitoring Optimalisasi Pertanian Cerdas dan menampilkan hasil data sensor kelembaban tanah yang diakses melalui jaringan internet dengan waktu tertentu
- Penggunaan teknologi ini diperkirakan akan meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam pengobatan daerah pertanian dan memberikan data yang akurat dan praktis tentang kondisi lahan pertanian.

B. Hasil Pengujian Struktural

Hasil pengujian ini untuk mencegah kesalahan struktur Wi-Fi di server. Koneksi Wi-Fi terhubung ke NODEMCU ESP8266, desain dan data sensor dikirim melalui media transmisi router seluler. Jika pengujian ada kesalahan, Wi-Fi tidak dihidupkan sama sekali dan data tidak akan dikirim. Pengujian ini penting dilakukan di Geopark Ciletuh Sukabumi untuk memastikan bahwa sistem pemantauan kelembaban tanah dapat berfungsi dengan baik tanpa gangguan konektivitas. Dengan demikian, pengelolaan lahan pertanian di Geopark Ciletuh Sukabumi dapat dilakukan secara optimal dan efisien, mendukung pertanian yang lebih cerdas dan berbasis teknologi.

Tabel 1 Pengujian Struktural

No	Komponen Sistem		Keterangan
1	NODEMCU ESP8266	Server Wireless Router Soil Moisture Bateray 9V	Terhubung Terhubung Terhubung Terhubung

C. Hasil Pengujian Fungsional

Hasil pengujian ini desain sensor kelembaban tanah individu untuk disimpan ke dalam database. Sensor soil moisture mengukur kelembaban tanah di Geopark Ciletuh Sukabumi dan menghasilkan keluaran berupa besaran listrik yang dikirim ke NodeMCU-ESP8266. NodeMCU-ESP8266 menghubungkan sensor ke jaringan wireless dan mengirim data sensor melalui IoT yang dipasang di Geopark Ciletuh Sukabumi. Wireless

router menjadi media komunikasi data yang dikirim melalui NodeMCU-ESP8266 ke jaringan IoT yang tersedia di Geopark Ciletuh Sukabumi. Server menerima dan menampilkan data yang dikirim melalui IoT dari Geopark Ciletuh Sukabumi, kemudian menyimpan data tersebut ke dalam database. Laptop digunakan untuk memonitoring Optimalisasi Pertanian Cerdas dan menampilkan hasil data sensor kelembaban tanah yang diakses melalui jaringan internet secara real-time dari Geopark Ciletuh Sukabumi. Dengan langkah-langkah ini, sistem pertanian cerdas di Geopark Ciletuh Sukabumi dapat dioperasikan dengan efisien, memastikan bahwa data kelembaban tanah selalu diperbarui dan dapat diakses untuk keperluan pertanian. Hal ini akan mendukung upaya peningkatan produktivitas pertanian di kawasan Geopark Ciletuh Sukabumi yang kaya akan keindahan alam dan potensi pertanian.

D. Hasil Pengujian Web Server

Hasil pengujian dilakukan untuk memeriksa apakah sistem dapat ditampilkan di website. Dan hasil penampilan dan fitur situs web seperti yang diharapkan. Salah satu pengujian web server ini dapat dilihat pada gambar berikut, di mana situs web yang diuji menampilkan informasi terkait Geopark Ciletuh Sukabumi. Geopark Ciletuh Sukabumi, yang merupakan salah satu destinasi wisata unggulan dengan keindahan alam yang memukau, menjadi contoh konten yang diujikan untuk memastikan bahwa semua elemen website, termasuk informasi dan visual mengenai destinasi ini, tampil dengan benar di browser.



Gambar 10 Pengujian Web Server Pada Browser

E. Hasil Pengujian List Data

Hasil pemantauan optimisasi pertanian cerdas dapat ditemukan dalam tabel berikut. Di sini dapat melihat data sensor untuk lokasi seperti Geopark Ciletuh Sukabumi, memungkinkan sistem untuk memproses dan menampilkan informasi secara *real time* di website.

Tabel 2 Pengujian Sensor Kelembaban Tanah

No	Pengujian	Hasil Pengujian	Kesimpulan
53	653	2021-05-03 15:08:42	Lembab
95	735	2021-05-08 10:05:03	Lembab
116	818	2021-05-13 18:03:05	Lembab

Pada tabel 1 hasil data sensor kelembaban tanah yang otomatis masuk ke database secara real-time dilengkapi dengan fitur untuk menampilkan berdasarkan hasil data sensor, No, Pengujian, Hasil Pengujian dan Kesimpulan. Dengan sistem ini, petani di lokasi Geopark Ciletuh Sukabumi dapat memantau kondisi lahan pertanian dengan lebih efektif. Data yang dikumpulkan secara otomatis dan real-time memungkinkan petani untuk melakukan tindakan yang tepat berdasarkan status kelembaban tanah, sehingga dapat mengoptimalkan pengelolaan lahan pertanian.

F. Hasil Pengujian Black Box

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa server yang dirancang dapat secara efektif berfungsi sebagai server, menerima data dari sensor kelembaban tanah dan menyimpannya dalam database. Dalam konteks ini, data dari lokasi seperti Geopark Ciletuh Sukabumi juga termasuk dalam sistem, memperlihatkan bagaimana teknologi IoT diterapkan untuk memantau kelembaban tanah di area pertanian. Hasil dari rancangan pada penelitian ini, termasuk implementasi di Geopark Ciletuh Sukabumi, dapat dilihat pada tabel berikut, yang menunjukkan kinerja dan fungsionalitas server dalam mengelola dan menyimpan data sensor. Tabel aplikasi yang digunakan oleh Internet of Thing Server (IoT) menggunakan metode kotak hitam untuk menjalankan tes. Tes ini dilakukan untuk menguji penampilan perangkat lunak dan menampilkan halaman langsung yang berinteraksi dengan pengguna sistem. Hasil tes ini dapat dilihat di tabel 3

Tabel 3 Pengujian Black Box Pada Halaman Website

Nama Fungsi	Input	Proses	Output	Keterangan
Login	User ID, Password	Memverifikasi User ID dan Password	Tampilan Dashboard	Login
Monitoring	Sensor Data	Menampilkan data dari sensor secara real-time	Tampilan Grafik/Data	Monitoring
Control	Perintah kontrol	Mengirim perintah ke perangkat IoT	Status Perangkat	Control

G. Hasil Pengujian Validasi

Hasil pengujian validasi dilakukan oleh server untuk menentukan apakah data yang diterima sesuai dengan situasi aktual. Investigasi ini dilakukan dengan membuka database dari hasil data sensor yang dikirim ke server dari Internet of Things (IoT).

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem Internet of Things (IoT) yang dikembangkan telah terbukti efektif dalam memantau kelembaban tanah secara real-time di Geopark Ciletuh Sukabumi. Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem Internet of Things (IoT) untuk optimasi pertanian cerdas di Geopark Ciletuh Sukabumi. Sistem ini memanfaatkan sensor kelembaban tanah yang terhubung dengan NodeMCU-ESP8266 dan wireless router untuk memantau kondisi kelembaban tanah secara real-time, sehingga data dapat dikumpulkan dan diolah secara otomatis.
2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengirim data kelembaban tanah secara langsung ke server, menyimpannya dalam database, dan menampilkannya melalui website yang dapat diakses oleh petani. Pengujian yang dilakukan, meliputi pengujian struktural, fungsional, dan validasi, membuktikan bahwa sistem berfungsi dengan baik, di mana data yang dikirim oleh sensor diterima dengan benar oleh server dan ditampilkan sesuai dengan kondisi nyata. Pengujian web server juga menunjukkan bahwa data kelembaban tanah dapat diakses dengan mudah melalui website, meskipun masih perlu pengembangan lebih lanjut terkait domain dan hosting.
3. Implementasi teknologi IoT ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan lahan pertanian, membantu petani mengurangi risiko gagal panen, serta mendukung konservasi dan pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan di Geopark Ciletuh Sukabumi. Dengan sistem ini, pemantauan kelembaban tanah dapat dilakukan dengan lebih akurat, efisien, dan real-time, sehingga mendukung pertanian cerdas dan berbasis data.

V. Daftar Pustaka

- [1] R. Kusuma and D. P. Haryanto, "Smart Farming System with IoT-Based Soil Moisture Control for Enhancing Crop Yield in Indonesia," *IEEE Conf. Smart Agric. Technol.*, 2021.
- [2] and E. S. Y. Prasetyo, N. Putra, "Development of an IoT-Based Agricultural Monitoring System for Water Resource Management," vol. 10, 2022.
- [3] and H. P. S. M. Lee, J. Kim, "A Cloud-Based IoT Solution for Precision Agriculture to Improve Farm Productivity," *IEEE 17th Int. Conf. Autom. Sci. Eng.*, 2021.
- [4] and P. V. A. K. Singh, S. Choudhary, "IoT-Enabled Smart Farming: A Deep Learning Approach for Soil Moisture and Weather Prediction," *IEEE Internet Things J.*, vol. 9, no. 6, 2022.
- [5] and A. R. F. Rahim, M. Iqbal, "Implementation of IoT-Based Smart Agriculture Monitoring and Irrigation System Using NodeMCU," *Proc. 2023*

- [6] *IEEE Int. Symp. Networks, Comput. Commun.*, 2023. and S. M. A. K. P. Verma, R. K. Sharma, "IoT-Based Decision Support System for Precision Agriculture," *IEEE Glob. Humanit. Technol. Conf.*, 2022.
- [7] and K. K. N. S. Prasad, B. P. Reddy, "Smart Farming with IoT and AI: A Case Study on Paddy Crops," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 18, no. 5, 2022.
- [8] and N. K. R. M. Devi, S. B. Kumaresan, "IoT and Big Data Analytics for Smart Agriculture: A Comprehensive Review," *IEEE Int. Conf. Recent Trends Electron. Inf. Commun. Technol.*, 2021.
- [9] and A. G. P. K. Gupta, S. Yadav, "An IoT-Based Framework for Smart Irrigation Using Machine Learning Algorithms," *IEEE Sens. J.*, vol. 21, no. 15, 2021.
- [10] "Geopark Ciletuh A Natural Wonder in Sukabumi," 2023.
- [11] "Ciletuh-Palabuhanratu UNESCO Global Geopark," 2023, [Online]. Available: <https://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/list-of-unesco-global-geoparks/indonesia/ciletuh-palabuhanratu/>
- [12] "Ciletuh-Palabuhanratu Geopark Enhancing Local Economy Through Sustainable Tourism," 2023.
- [13] R. I. A. Hartono, D., & Setyawan, "Geological and Ecological Significance of Ciletuh Geopark in Sukabumi, Indonesia," *J. Environ. Sci. Sustain. Dev.*, vol. 9, no. 3, pp. 45–58, 2021.
- [14] Regional Development Planning Agency of Sukabumi, "Strategic Plan for Sustainable Management of Ciletuh Geopark," 2022.
- [15] R. Kusuma, "Keunikan Geologis dan Keanekaragaman Hayati Geopark Ciletuh Sukabumi," *Semin. Nas. Geol. dan Geogr. Univ. Indones.*, 2022.
- [16] and M. G. S. N. Kumar, P. R. P., "IoT-Based Automated Drip Irrigation System with Wireless Sensor Networks," *IEEE Int. Conf. Comput. Commun. Intell. Syst.*, 2022.
- [17] and R. P. S. R. B. Choudhary, A. K. Jha, "IoT-Driven Smart Agriculture System for Precision Farming," vol. 10, 2023.
- [18] and Q. V. N. T. H. Nguyen, T. V. Pham, "IoT-Based Smart Agriculture: An Application of Machine Learning Techniques in Monitoring and Control," *Proc. 2021 IEEE Int. Conf. Data Sci. Adv. Anal.*, 2021.
- [19] D. Ardiansyah, A. S. M. Huda, E. T. Tosida, and A. T. Bon, "Wireless sensor networks for soil nutrition to increase agricultural productivity," in *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2020.
- [20] and R. P. S. R. B. Choudhary, A. K. Jha, "IoT-Driven Smart Agriculture System for Precision Farming," vol. 10, 2023.
- [21] and Q. V. N. T. H. Nguyen, T. V. Pham, "IoT-Based Smart Agriculture: An Application of Machine Learning Techniques in Monitoring and Control," *Proc. 2021 IEEE Int. Conf. Data Sci. Adv. Anal.*, 2021.
- [22] D. Ardiansyah, A. S. M. Huda, E. T. Tosida, and A. T. Bon, "Wireless sensor networks for soil nutrition to increase agricultural productivity," 2020.