

Penerapan Internet of Things (IoT) untuk Monitoring Kelembapan Tanah pada Sistem Smart Agriculture

Ryan Putra Pratama Agustin^{1)*} , Dimas Prasetya Januar Dyansah²⁾ 

^{1 2)} Universitas Madura, Pamekasan Indonesia

¹⁾ rynputrapratamaa@gmail.com ²⁾ dimassprsty@gmail.com

Abstrak

Kemajuan teknologi digital telah membuka peluang bagi sektor pertanian untuk mengadopsi konsep Smart Agriculture guna meningkatkan efektivitas pengelolaan lahan dan hasil produksi. Salah satu parameter penting dalam budidaya tanaman adalah tingkat kelembapan tanah, karena kondisi tersebut sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Pemantauan kelembapan tanah yang masih dilakukan secara konvensional sering kali kurang efisien karena memerlukan tenaga, waktu, dan tidak mampu memberikan informasi secara berkelanjutan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan penerapan teknologi Internet of Things (IoT) sebagai sarana pemantauan kelembapan tanah secara otomatis dan real-time. Penelitian ini menggunakan pendekatan perancangan sistem yang memanfaatkan sensor kelembapan tanah untuk memperoleh data kondisi media tanam, mikrokontroler sebagai pengolah data, serta jaringan internet sebagai media komunikasi antara perangkat dan pengguna. Data yang dikumpulkan oleh sensor akan dikirim secara langsung ke platform monitoring sehingga informasi mengenai kondisi tanah dapat diakses dengan mudah melalui perangkat yang terhubung ke internet. Dengan adanya sistem ini, pengguna dapat melakukan pemantauan secara jarak jauh dan memperoleh informasi yang lebih cepat dibandingkan metode manual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis IoT mampu menyediakan data kelembapan tanah secara real-time dengan tingkat kemudahan akses yang tinggi. Implementasi sistem ini dapat membantu petani dalam menentukan kebutuhan irigasi secara lebih tepat, mengoptimalkan penggunaan air, serta meningkatkan efisiensi pengelolaan lahan pertanian. Oleh karena itu, pemanfaatan teknologi IoT pada pemantauan kelembapan tanah menjadi salah satu solusi yang potensial untuk mendukung penerapan pertanian cerdas yang modern, efektif, dan berkelanjutan.

Kata Kunci: Internet of Things (IoT), Smart Agriculture, Monitoring Kelembapan Tanah, Sensor Kelembapan, Pertanian Cerdas.

Article history: Received 5 April 2026, first decision 22 April 2026, accepted 22 August 2026, available online 28 October 2026

I. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor yang memiliki peran strategis dalam memenuhi kebutuhan pangan masyarakat serta mendukung pertumbuhan ekonomi suatu negara. Di tengah meningkatnya jumlah penduduk dan kebutuhan pangan yang terus bertambah, diperlukan upaya untuk meningkatkan produktivitas pertanian secara berkelanjutan.[1] Salah satu faktor yang memengaruhi keberhasilan budidaya tanaman adalah kondisi kelembapan tanah. Tingkat kelembapan yang sesuai akan membantu tanaman menyerap air dan unsur hara secara optimal sehingga pertumbuhan tanaman dapat berlangsung dengan baik.[2], [3] Pada praktiknya, banyak petani masih melakukan pemantauan kelembapan tanah secara konvensional, yaitu melalui pengamatan langsung terhadap kondisi tanah atau berdasarkan pengalaman pribadi.[4] Metode tersebut sering kali menghasilkan informasi yang kurang akurat karena bergantung pada penilaian subjektif. Selain itu, proses pemantauan secara manual membutuhkan waktu dan tenaga yang cukup besar, terutama pada lahan pertanian yang luas. Akibatnya, keputusan terkait penyiraman tanaman sering kali tidak dilakukan pada waktu yang tepat.[5], [6]

Kesalahan dalam pengelolaan kelembapan tanah dapat menimbulkan berbagai dampak negatif. Kondisi tanah yang terlalu kering dapat menyebabkan tanaman mengalami stres air sehingga pertumbuhannya terhambat. Sebaliknya, tanah yang terlalu basah dapat mengurangi kadar oksigen di sekitar akar dan meningkatkan risiko munculnya penyakit tanaman. Oleh karena itu,[7] diperlukan suatu sistem yang mampu memberikan informasi kondisi kelembapan tanah secara cepat, akurat, dan berkesinambungan. Kemajuan teknologi di era digital telah mendorong pemanfaatan berbagai

* Ryan

inovasi pada sektor pertanian. Salah satu konsep yang berkembang adalah Smart Agriculture atau pertanian cerdas,[8] yaitu penerapan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan lahan pertanian. Konsep ini memanfaatkan berbagai perangkat digital untuk mengumpulkan, mengolah, dan menyajikan data yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam kegiatan pertanian.[9], [10]

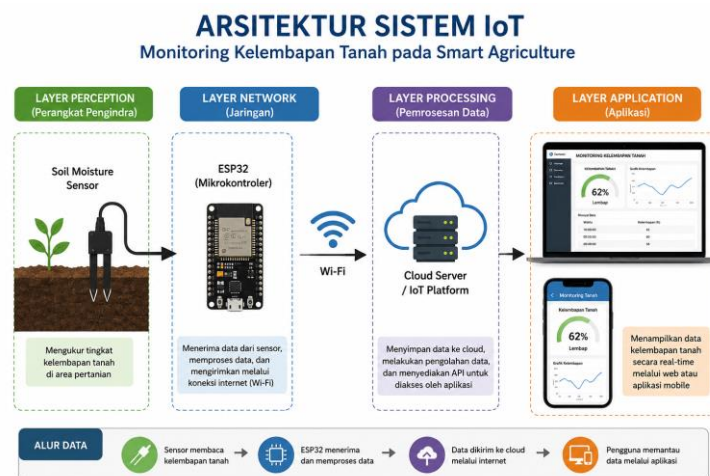
Salah satu teknologi yang mendukung implementasi Smart Agriculture adalah Internet of Things (IoT). Teknologi IoT memungkinkan perangkat elektronik saling terhubung melalui jaringan internet untuk bertukar data secara otomatis tanpa memerlukan interaksi manusia secara terus-menerus.[11] Dalam konteks pertanian, IoT dapat digunakan untuk memantau berbagai parameter lingkungan, seperti suhu, kelembapan udara, intensitas cahaya, serta kelembapan tanah.[12] Melalui penggunaan sensor kelembapan tanah yang terhubung dengan mikrokontroler dan jaringan internet, data kondisi tanah dapat diperoleh dan dikirimkan secara real-time ke platform monitoring. Dengan demikian, petani dapat mengetahui kondisi lahan kapan saja dan dari mana saja melalui perangkat yang terhubung ke internet.[13] Informasi tersebut dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan air tanaman sehingga proses penyiraman menjadi lebih efektif dan efisien.[14]

Selain memudahkan proses pemantauan, penerapan teknologi IoT juga berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya air,[15] mengurangi biaya operasional, serta membantu meminimalkan risiko kerugian akibat kesalahan pengelolaan irigasi. Data yang terkumpul juga dapat dimanfaatkan untuk analisis lebih lanjut guna mengetahui pola perubahan kelembapan tanah pada periode tertentu. Informasi tersebut dapat menjadi acuan dalam menyusun strategi pengelolaan pertanian yang lebih baik.[16], [17] Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengembangkan dan menerapkan sistem monitoring kelembapan tanah berbasis Internet of Things (IoT) pada lingkungan Smart Agriculture.[18] Sistem yang dibangun diharapkan mampu menyediakan informasi kondisi tanah secara real-time dan mudah diakses sehingga dapat membantu petani dalam meningkatkan kualitas pengelolaan lahan serta mendukung transformasi menuju pertanian modern yang lebih produktif dan berkelanjutan.[19]

II. TINJAUAN PUSTAKA

Internet of Things (IoT) adalah suatu konsep yang menghubungkan berbagai perangkat fisik ke jaringan internet sehingga perangkat tersebut dapat mengumpulkan, mengirimkan, menerima, dan mengolah data secara otomatis tanpa memerlukan interaksi manusia secara terus-menerus.[20] Teknologi ini memanfaatkan kombinasi sensor, aktuator, mikrokontroler, jaringan komunikasi, serta platform penyimpanan data untuk menghasilkan sistem yang mampu bekerja secara cerdas dan terintegrasi. Perkembangan IoT telah membawa perubahan besar dalam berbagai bidang, seperti kesehatan, industri, transportasi, pendidikan, dan pertanian.[21] Pada sektor pertanian, teknologi ini dimanfaatkan untuk melakukan pemantauan kondisi lingkungan secara otomatis sehingga petani dapat memperoleh informasi yang lebih akurat dibandingkan metode konvensional. Melalui sistem berbasis IoT, data dapat diperoleh secara real-time dan digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan yang lebih tepat.[22]

Implementasi IoT umumnya melibatkan beberapa komponen utama yang saling terhubung. Sensor berfungsi sebagai alat pengumpul data dari lingkungan, mikrokontroler bertugas mengolah data yang diterima, jaringan internet digunakan sebagai media komunikasi data,[23] sedangkan platform monitoring berfungsi menampilkan informasi kepada pengguna dalam bentuk yang mudah dipahami.[24]



Gambar 1 Arsitektur Sistem IoT

Smart Agriculture atau pertanian cerdas merupakan pendekatan modern dalam pengelolaan pertanian yang memanfaatkan teknologi digital untuk meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan kualitas hasil pertanian. Konsep ini mengintegrasikan teknologi informasi dengan aktivitas pertanian sehingga berbagai proses yang sebelumnya dilakukan secara manual dapat dilakukan secara otomatis dan berbasis data.[25] Penerapan Smart Agriculture memungkinkan petani memperoleh informasi kondisi lahan secara lebih cepat dan akurat. Berbagai perangkat sensor yang dipasang di area pertanian dapat mengukur parameter lingkungan seperti suhu udara, kelembapan udara, intensitas cahaya,[26] kandungan nutrisi tanah, serta kelembapan tanah. Informasi tersebut kemudian dikirim ke sistem monitoring sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan dari jarak jauh. Penggunaan teknologi pertanian cerdas juga berkontribusi terhadap penghematan sumber daya, terutama air dan energi.[27] Selain itu, sistem ini membantu petani dalam mengidentifikasi permasalahan lebih dini sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan sebelum berdampak pada hasil panen.[28]

Kelembapan tanah merupakan kondisi yang menunjukkan jumlah air yang tersimpan di dalam pori-pori tanah. Tingkat kelembapan yang sesuai sangat diperlukan karena berpengaruh langsung terhadap proses metabolisme tanaman, penyerapan nutrisi, serta perkembangan sistem perakaran. Kondisi tanah yang terlalu kering dapat menyebabkan tanaman mengalami kekurangan air sehingga pertumbuhannya terganggu.[29] Sebaliknya, kadar air yang berlebihan dapat menurunkan kandungan oksigen di dalam tanah dan meningkatkan risiko serangan penyakit pada akar tanaman. Oleh sebab itu, pemantauan kelembapan tanah menjadi salah satu aspek penting dalam kegiatan budidaya tanaman. Dalam sistem pertanian modern,[30] pengukuran kelembapan tanah dilakukan menggunakan sensor elektronik yang mampu memberikan informasi secara otomatis dan berkelanjutan. Data yang dihasilkan kemudian digunakan sebagai dasar untuk menentukan kebutuhan penyiraman tanaman.

Rentang Nilai	Kondisi	Interpretasi
0% – 30%	Kering	Tanaman memerlukan penyiraman
31% – 60%	Optimal	Kondisi ideal untuk pertumbuhan
61% – 80%	Lembap	Kandungan air masih mencukupi
81% – 100%	Sangat Basah	Berpotensi menyebabkan genangan

Tabel 1 Klasifikasi Tingkat Kelembapan Tanah

Sensor kelembapan tanah merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk mengetahui tingkat kandungan air pada media tanam. Sensor ini menghasilkan nilai pengukuran yang dapat digunakan untuk menentukan kondisi tanah, apakah berada dalam keadaan kering, lembap, atau terlalu basah. Secara umum, sensor kelembapan tanah yang sering digunakan dalam penelitian IoT terbagi menjadi sensor resistif dan sensor kapasitif.[31] Sensor resistif bekerja dengan mengukur perubahan hambatan listrik yang terjadi akibat perbedaan kadar air di dalam tanah. Meskipun harganya relatif murah, sensor jenis ini memiliki kelemahan berupa korosi pada bagian elektroda setelah digunakan dalam waktu lama. Sementara itu, sensor kapasitif bekerja dengan memanfaatkan perubahan nilai kapasitansi yang dipengaruhi oleh kandungan air tanah. Sensor ini memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap lingkungan sehingga sering digunakan pada sistem monitoring yang memerlukan penggunaan jangka panjang.[32]

Parameter	Sensor Resistif	Sensor Kapasitif
Biaya	Relatif Murah	Sedikit Lebih Mahal
Tingkat Akurasi	Sedang	Tinggi
Ketahanan	Rentan Korosi	Lebih Tahan Lama
Perawatan	Lebih Sering	Lebih Sedikit
Kesesuaian untuk IoT	Baik	Sangat Baik

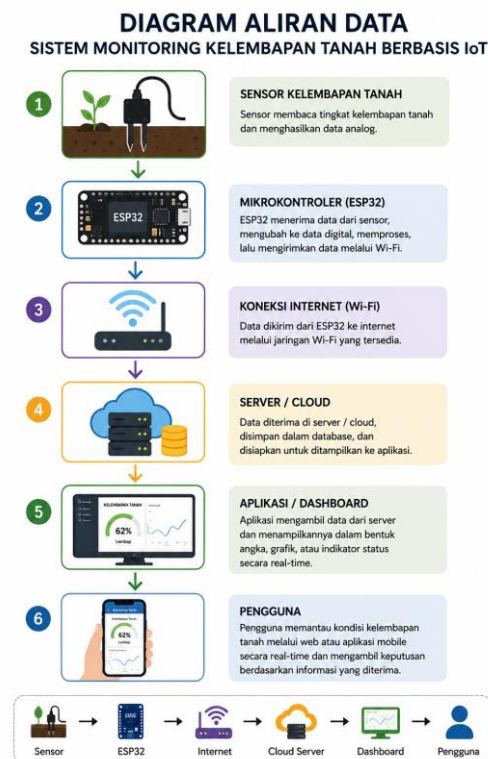
Tabel 2 Perbandingan Jenis Sensor Kelembapan Tanah

ESP32 merupakan salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem Internet of Things karena memiliki fitur komunikasi nirkabel yang lengkap. Perangkat ini telah dilengkapi modul Wi-Fi dan Bluetooth sehingga memudahkan proses pertukaran data antara sensor dan platform monitoring.[33] Selain memiliki kemampuan komunikasi yang baik, ESP32 juga menawarkan performa pemrosesan yang cukup tinggi dengan konsumsi daya yang relatif rendah. Hal tersebut menjadikan ESP32 sebagai pilihan yang populer dalam berbagai proyek IoT, termasuk sistem monitoring kelembapan tanah pada bidang pertanian. Dalam penelitian ini, ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali sistem. Data yang diperoleh dari sensor kelembapan tanah akan diproses terlebih dahulu oleh ESP32 sebelum dikirimkan ke server atau platform monitoring melalui jaringan internet.[34]

Komponen	Spesifikasi
Arsitektur Prosesor	Dual-Core 32-bit
Kecepatan Clock	Hingga 240 MHz
Fitur Wi-Fi	Tersedia
Fitur Bluetooth	Tersedia
Tegangan Operasi	3,3 Volt
Jumlah GPIO	Hingga 34 Pin

Tabel 3 Karakteristik ESP32

Platform monitoring merupakan media yang digunakan untuk menampilkan data hasil pengukuran sensor kepada pengguna. Informasi yang diperoleh dari sensor dapat divisualisasikan dalam bentuk angka, grafik, indikator status, maupun notifikasi. Penggunaan platform monitoring memungkinkan pengguna melakukan pemantauan kondisi lahan secara jarak jauh menggunakan komputer atau perangkat seluler. Beberapa platform yang sering digunakan dalam pengembangan sistem IoT antara lain Blynk, ThingSpeak, Firebase, dan MQTT Dashboard.[35] Keberadaan platform monitoring sangat penting karena menjadi sarana interaksi antara sistem dan pengguna. Melalui tampilan yang informatif, pengguna dapat memahami kondisi lahan dengan lebih mudah dan mengambil keputusan berdasarkan data yang tersedia.



Gambar 2 Diagram Aliran Data Sistem Monitoring

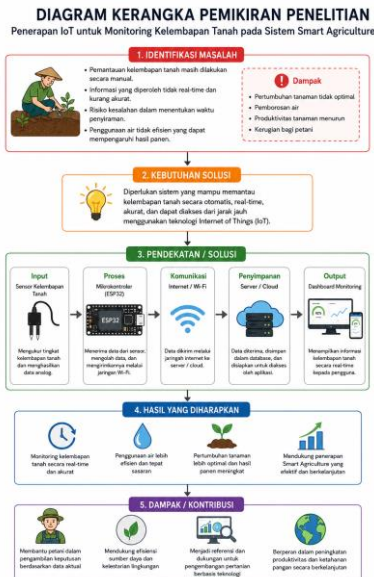
Kajian terhadap penelitian terdahulu dilakukan untuk memperoleh gambaran mengenai perkembangan teknologi monitoring kelembapan tanah berbasis IoT serta untuk menemukan celah penelitian yang dapat dikembangkan lebih lanjut.[36] Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan IoT dalam bidang pertanian mampu meningkatkan efektivitas pemantauan kondisi lingkungan dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat.

Peneliti	Fokus Penelitian	Teknologi yang Digunakan	Temuan Utama
Sugandi dkk.	Monitoring lingkungan pertanian	ESP32 dan sensor lingkungan	Sistem mampu melakukan pemantauan kondisi tanaman secara real-time
Ella dkk.	Monitoring kelembapan tanah	ESP32 dan Soil Moisture Sensor	Data kelembapan dapat dipantau secara online dan berkelanjutan
Supendi dkk.	Monitoring kondisi tanah	Sensor kelembapan dan suhu tanah	Sistem menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi
Romadan dkk.	Monitoring tanaman cabai	ESP8266 dan Fuzzy Logic	Membantu menjaga kelembapan tanah secara optimal
Rifaat dkk.	Penyiraman tanaman otomatis	IoT dan aplikasi mobile	Monitoring dan kontrol dapat dilakukan dari jarak jauh

Tabel 4 Ringkasan Penelitian Terdahulu

Berdasarkan berbagai penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan IoT pada sektor pertanian memiliki potensi yang besar untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan lahan. Namun demikian, pengembangan sistem monitoring yang lebih sederhana, mudah diterapkan, dan memiliki biaya implementasi yang terjangkau masih menjadi topik yang relevan untuk diteliti.[37]

Penelitian ini dilandasi oleh permasalahan yang sering dihadapi petani dalam memantau kondisi kelembapan tanah secara manual. Proses pemantauan yang masih bergantung pada observasi langsung cenderung kurang efisien dan berpotensi menghasilkan keputusan yang kurang tepat terkait kebutuhan air tanaman. Untuk mengatasi permasalahan tersebut,[38] digunakan pendekatan berbasis Internet of Things dengan mengintegrasikan sensor kelembapan tanah, mikrokontroler ESP32, jaringan internet, dan dashboard monitoring.



Gambar 3 Diagram kerangka pemikiran penelitian IoT

Kerangka pemikiran tersebut menggambarkan bahwa penggunaan teknologi IoT dapat menjadi solusi untuk meningkatkan efektivitas pemantauan kelembapan tanah. Dengan tersedianya data secara real-time,[39] petani dapat melakukan pengelolaan irigasi yang lebih tepat sehingga mendukung terciptanya sistem pertanian cerdas yang efisien, produktif, dan berkelanjutan.[40]

III. METODE

Penelitian ini menerapkan pendekatan Research and Development (R&D) yang berorientasi pada proses perancangan, pengembangan, serta pengujian sebuah sistem monitoring kelembapan tanah berbasis Internet of Things (IoT) untuk mendukung konsep Smart Agriculture.[41] Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak hanya berfokus pada analisis teori, tetapi juga menghasilkan suatu prototipe yang dapat digunakan untuk memantau kondisi tanah secara otomatis dan real-time. Dengan metode ini, setiap tahapan penelitian dilakukan secara sistematis mulai dari pengkajian masalah hingga evaluasi terhadap sistem yang telah dikembangkan. Tahap awal penelitian dimulai dengan melakukan kajian literatur.[42] Kegiatan ini bertujuan untuk mengumpulkan berbagai informasi yang berkaitan dengan teknologi Internet of Things, sistem pertanian cerdas, sensor kelembapan tanah, mikrokontroler ESP32, serta teknologi komunikasi data yang digunakan dalam sistem monitoring. Sumber informasi diperoleh dari jurnal ilmiah, buku referensi,[43] prosiding konferensi, artikel akademik, dan berbagai publikasi ilmiah lainnya yang relevan. Hasil kajian literatur digunakan sebagai landasan teoritis sekaligus acuan dalam menentukan desain dan spesifikasi sistem yang akan dibangun.

Setelah memperoleh pemahaman yang memadai mengenai teori dan teknologi yang digunakan, dilakukan analisis kebutuhan sistem. Pada tahap ini, peneliti mengidentifikasi seluruh kebutuhan yang diperlukan baik dari sisi perangkat keras maupun perangkat lunak.[44] Komponen perangkat keras yang digunakan meliputi sensor kelembapan tanah sebagai alat akuisisi data, mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan data dan penghubung ke jaringan internet, serta beberapa perangkat pendukung lainnya seperti kabel koneksi, breadboard, dan sumber daya listrik. Dari sisi perangkat lunak,[45] sistem memanfaatkan Arduino IDE sebagai lingkungan pengembangan program dan platform monitoring berbasis cloud sebagai media penyimpanan serta visualisasi data hasil pengukuran. Tahapan berikutnya adalah proses perancangan sistem. Pada tahap ini dilakukan penyusunan desain arsitektur yang menggambarkan alur kerja seluruh komponen yang terlibat dalam sistem. Sensor kelembapan tanah bertugas mendeteksi kadar air yang terdapat pada media tanam. Data hasil pembacaan sensor kemudian diteruskan ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses menjadi informasi yang siap dikirimkan melalui jaringan internet.[46] Selanjutnya, data tersebut disimpan pada server atau layanan cloud sehingga dapat ditampilkan pada dashboard monitoring yang dapat diakses oleh pengguna melalui perangkat komputer maupun smartphone. Perancangan sistem dilakukan dengan mempertimbangkan aspek kemudahan implementasi, efisiensi komunikasi data, dan kemudahan akses bagi pengguna.

Setelah proses perancangan selesai, penelitian dilanjutkan pada tahap implementasi. Pada tahap ini seluruh komponen perangkat keras dirakit sesuai dengan rancangan yang telah dibuat sebelumnya. Sensor kelembapan tanah dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32 sehingga mampu mengirimkan data hasil pengukuran secara langsung. Selanjutnya,[47] dilakukan pemrograman pada ESP32 menggunakan bahasa pemrograman C++ melalui Arduino IDE agar perangkat dapat membaca nilai sensor, melakukan pengolahan data, serta mengirimkan hasil pengukuran ke platform monitoring melalui jaringan internet. Selain itu, dilakukan konfigurasi dashboard monitoring untuk memastikan data yang dikirim dapat ditampilkan secara real-time dalam bentuk yang mudah dipahami oleh pengguna. Tahap selanjutnya adalah pengujian sistem.[48] Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang telah dirancang. Proses pengujian mencakup pemeriksaan akurasi sensor dalam mendeteksi tingkat kelembapan tanah, kemampuan ESP32 dalam memproses dan mengirimkan data, kestabilan koneksi internet selama proses komunikasi data, serta kemampuan dashboard dalam menampilkan informasi secara real-time.[49] Pengujian dilakukan pada beberapa kondisi tanah yang berbeda, mulai dari kondisi kering, cukup lembap, hingga sangat basah. Variasi kondisi tersebut digunakan untuk mengetahui respons sistem terhadap perubahan kadar air pada media tanam.[50]

Data yang diperoleh selama proses pengujian kemudian dianalisis untuk mengevaluasi performa sistem secara keseluruhan. Analisis dilakukan dengan memperhatikan tingkat konsistensi data yang dihasilkan sensor, kecepatan pengiriman data dari perangkat ke server, serta kemudahan pengguna dalam memperoleh informasi melalui dashboard monitoring. Hasil analisis digunakan untuk menilai efektivitas sistem yang dikembangkan dalam mendukung pemantauan kondisi tanah secara otomatis dan berkelanjutan. Rangkaian penelitian ini dilaksanakan secara bertahap dan terstruktur,[51] dimulai dari identifikasi permasalahan yang terdapat pada proses pemantauan kelembapan tanah secara konvensional, dilanjutkan dengan studi literatur, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi perangkat, pengujian, analisis hasil, hingga penyusunan kesimpulan dan rekomendasi. Melalui tahapan tersebut diharapkan sistem monitoring kelembapan tanah berbasis IoT yang dikembangkan mampu memberikan solusi yang lebih efektif dibandingkan metode manual,[52] sehingga dapat membantu petani dalam mengelola lahan pertanian secara lebih efisien, tepat, dan berbasis data. Secara umum, alur penelitian dapat digambarkan sebagai proses yang dimulai dari identifikasi masalah, pengumpulan referensi pendukung, analisis kebutuhan sistem, perancangan dan pembangunan prototipe, pengujian kinerja sistem, analisis hasil pengujian, serta penarikan kesimpulan.[53]

IV. HASIL

Penelitian ini menghasilkan sebuah prototipe sistem pemantauan kelembapan tanah berbasis Internet of Things (IoT) yang ditujukan untuk mendukung implementasi konsep Smart Agriculture. Sistem yang dikembangkan mampu melakukan pengukuran kondisi kelembapan tanah secara otomatis melalui sensor yang terpasang pada media tanam. Data hasil pengukuran kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32 dan dikirimkan melalui jaringan internet sehingga dapat diakses oleh pengguna secara langsung melalui perangkat digital. Berdasarkan hasil implementasi yang telah dilakukan, sistem menunjukkan kemampuan dalam mengintegrasikan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan. Sensor kelembapan tanah dapat mendeteksi perubahan kadar air pada media tanam, sementara ESP32 berfungsi sebagai pengolah sekaligus pengirim data menuju platform monitoring. Informasi yang diperoleh dapat ditampilkan secara real-time sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi tanah tanpa harus melakukan pengamatan secara langsung di lokasi pertanian. Proses kerja sistem dimulai ketika sensor membaca kandungan air pada tanah. Nilai yang diperoleh kemudian diproses oleh ESP32 dan dikonversi menjadi data yang lebih mudah dipahami dalam bentuk persentase kelembapan. Selanjutnya, data tersebut dikirimkan melalui koneksi internet menuju server atau platform monitoring untuk ditampilkan kepada pengguna.

Tahap implementasi perangkat keras dilakukan dengan merangkai seluruh komponen sesuai dengan desain sistem yang telah dirancang sebelumnya. Komponen yang digunakan terdiri atas sensor kelembapan tanah sebagai alat akuisisi data, mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan dan komunikasi data, media penghubung berupa kabel jumper dan breadboard, serta sumber daya yang digunakan untuk mengoperasikan sistem. Setelah seluruh perangkat terhubung dengan benar, sistem mampu beroperasi sesuai dengan fungsi yang diharapkan. Sensor dapat mendeteksi perubahan tingkat kelembapan tanah, sementara ESP32 mampu menerima data hasil pembacaan sensor dan mempersiapkannya untuk dikirim ke platform monitoring. Selama proses pengujian, perangkat keras menunjukkan performa yang stabil dan tidak mengalami kendala yang berarti.

Pengembangan perangkat lunak dilakukan menggunakan Arduino IDE sebagai lingkungan pemrograman mikrokontroler. Program yang dibuat mencakup proses pembacaan data sensor, pengolahan nilai kelembapan, koneksi ke jaringan internet, serta pengiriman data ke server atau platform monitoring. Saat sistem dijalankan, ESP32 secara otomatis melakukan koneksi ke jaringan Wi-Fi yang telah dikonfigurasi sebelumnya. Setelah koneksi berhasil dilakukan, perangkat mulai mengirimkan data hasil pembacaan sensor secara berkala. Data yang diterima oleh server kemudian ditampilkan pada dashboard monitoring sehingga pengguna dapat memantau kondisi tanah secara langsung. Informasi yang ditampilkan pada dashboard meliputi nilai kelembapan tanah dalam bentuk persentase, status kondisi tanah berdasarkan tingkat kelembapannya, serta grafik yang menunjukkan perubahan nilai kelembapan dari waktu ke waktu. Tampilan tersebut membantu pengguna dalam memahami kondisi lahan secara lebih mudah dan cepat.

Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui kemampuan perangkat dalam mendeteksi variasi kandungan air pada tanah. Pengujian dilaksanakan pada beberapa kondisi media tanam yang berbeda, mulai dari tanah dengan kadar air rendah hingga tanah dengan kadar air tinggi. Dari hasil pengujian yang dilakukan, sensor mampu memberikan respons terhadap perubahan kondisi tanah. Ketika tanah berada dalam keadaan kering, nilai kelembapan yang dihasilkan cenderung rendah. Setelah dilakukan penambahan air, nilai yang terbaca meningkat secara bertahap sesuai dengan perubahan kondisi media tanam. Pada kondisi tanah yang sangat lembap, sensor menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan kondisi sebelumnya. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi perubahan kadar air sehingga dapat digunakan sebagai komponen utama dalam sistem monitoring kelembapan tanah.

V. PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring kelembapan tanah berbasis Internet of Things (IoT) yang dikembangkan telah mampu menjalankan fungsi utamanya sesuai dengan perancangan yang telah dilakukan. Sistem ini memanfaatkan sensor kelembapan tanah sebagai perangkat pengukur kondisi media tanam, sementara mikrokontroler ESP32 berperan dalam memproses serta mengirimkan data hasil pengukuran ke platform monitoring melalui koneksi internet. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sensor mampu memberikan respons terhadap perubahan kadar air pada tanah. Perbedaan kondisi tanah, mulai dari kering hingga basah, menghasilkan nilai pembacaan yang berbeda sehingga kondisi kelembapan dapat teridentifikasi dengan baik. Kemampuan tersebut menunjukkan bahwa sensor yang digunakan cukup efektif untuk mendukung proses pemantauan kondisi tanah secara otomatis. Dari sisi pengolahan data, ESP32 dapat menjalankan tugasnya dengan baik dalam menerima data dari sensor, melakukan pemrosesan, dan meneruskan informasi ke server atau platform monitoring. Selama pengujian berlangsung, proses komunikasi data berjalan secara stabil sehingga informasi yang dihasilkan dapat diterima dan ditampilkan tanpa mengalami keterlambatan yang signifikan.

Dari sisi pengolahan data, ESP32 dapat menjalankan tugasnya dengan baik dalam menerima data dari sensor, melakukan pemrosesan, dan meneruskan informasi ke server atau platform monitoring. Selama pengujian berlangsung, proses komunikasi data berjalan secara stabil sehingga informasi yang dihasilkan dapat diterima dan ditampilkan tanpa mengalami keterlambatan yang signifikan. Platform monitoring yang digunakan dalam penelitian juga berhasil menyajikan informasi kelembapan tanah dalam bentuk yang mudah dipahami oleh pengguna. Penyajian data berupa nilai persentase dan grafik perubahan kelembapan membantu pengguna dalam memantau kondisi lahan secara lebih praktis. Selain itu, akses terhadap informasi dapat dilakukan dari berbagai perangkat yang terhubung ke internet sehingga proses pemantauan tidak lagi terbatas oleh lokasi. Secara umum, implementasi teknologi IoT pada sistem monitoring kelembapan tanah memberikan manfaat dalam meningkatkan efektivitas proses pemantauan dibandingkan metode konvensional. Ketersediaan data secara real-time memungkinkan pengguna memperoleh informasi yang lebih cepat untuk mendukung pengambilan keputusan terkait pengelolaan lahan dan kebutuhan penyiraman tanaman. Oleh karena itu, sistem yang dikembangkan dapat menjadi salah satu alternatif solusi dalam mendukung penerapan pertanian cerdas yang lebih efisien, modern, dan berbasis data.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan seluruh tahapan penelitian yang telah dilaksanakan, mulai dari perancangan sistem, proses implementasi, hingga pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring kelembapan tanah berbasis Internet of Things (IoT) berhasil dikembangkan dan dapat berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem ini mampu melakukan pengukuran tingkat kelembapan tanah secara otomatis dengan memanfaatkan sensor kelembapan tanah yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 dan didukung oleh koneksi internet untuk proses pengiriman data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat membaca perubahan kondisi kelembapan tanah pada berbagai tingkat kandungan air dengan baik. Data hasil pengukuran yang diperoleh dari sensor berhasil diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke platform monitoring sehingga informasi mengenai kondisi tanah dapat ditampilkan secara langsung dan dapat diakses kapan saja melalui perangkat yang terhubung ke internet. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang dibangun mampu mendukung proses pemantauan lahan secara lebih praktis dibandingkan metode pengamatan manual.

Selain itu, dashboard monitoring yang digunakan mampu menyajikan informasi dalam bentuk yang mudah dipahami oleh pengguna. Data yang ditampilkan berupa nilai kelembapan dan visualisasi grafik yang membantu pengguna dalam memantau perubahan kondisi tanah dari waktu ke waktu. Kemudahan akses terhadap informasi tersebut dapat membantu pengguna dalam menentukan tindakan yang diperlukan, khususnya dalam pengelolaan kebutuhan air bagi tanaman. Secara umum, penerapan teknologi IoT pada sistem monitoring kelembapan tanah memberikan manfaat yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi proses pemantauan kondisi lahan pertanian. Ketersediaan data secara real-time memungkinkan proses pengawasan dilakukan dengan lebih cepat, akurat, dan berkelanjutan. Oleh karena itu, sistem yang dikembangkan memiliki potensi untuk diterapkan sebagai salah satu solusi teknologi dalam mendukung pengelolaan pertanian modern yang lebih efektif, produktif, dan sesuai dengan konsep Smart Agriculture.

Kontribusi Penulis: [Ryan]: Konseptualisasi, Metodologi, Penulisan - Draf Awal, Penulisan - Telaah & Penyuntingan, Supervisi. Ryan merancang konsep dan metodologi penelitian, proses penulisan, serta melakukan penyuntingan dan validasi akhir naskah.

[Dimas]: Perangkat Lunak, Investigasi, Kurasi Data, Penulisan - Draf Awal. Dimas memverifikasi hasil akurasi data terhadap berbagai sumber jurnal, serta penyusunan draf akhir hasil penelitian.

Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang telah diterbitkan.

Pendanaan : -

Ucapan Terima Kasih : -

Konflik Kepentingan : Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan.

Ketersediaan Data : -

Persetujuan Berdasarkan Informasi ORCID : Tidak tersedia.

Penulis Pertama : https : -

Penulis Kedua : https : -

Penulis Ketiga : -

REFERENSI

- [1] B. Acharya, K. Garikapati, A. Yarlagadda, and S. Dash, "Internet of things (IoT) and data analytics in smart agriculture: Benefits and challenges," *AI, Edge IoT-based Smart Agric.*, pp. 3–16, 2021, doi: 10.1016/B978-0-12-823694-9.00013-X.
- [2] M. Alam, K. A. Shakil, and S. Khan, "Internet of things (IoT): Concepts and applications," *Internet Things Concepts Appl.*, pp. 1–515, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-37468-6.
- [3] T. Alam, "A Reliable Communication Framework and Its Use in Internet of Things (IoT)," *Int. J. Sci. Res. Comput. Sci. Eng. Inf. Technol.* © 2018 IJSRCSEIT, vol. 5, no. 10, pp. 450–456, 2018, doi: 10.36227/techrxiv.12657158.v1.
- [4] M. A. Al-Garadi, A. Mohamed, A. K. Al-Ali, X. Du, I. Ali, and M. Guizani, "A Survey of Machine and Deep Learning Methods for Internet of Things (IoT) Security," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 22, no. 3, pp. 1646–1685, 2020, doi: 10.1109/COMST.2020.2988293.
- [5] S. Al-Sarawi, M. Anbar, K. Alieyan, and M. Alzubaidi, "Internet of Things (IoT) communication protocols: Review," *ICIT 2017 - 8th Int. Conf. Inf. Technol. Proc.*, pp. 685–690, 2017, doi: 10.1109/ICITECH.2017.8079928.
- [6] M. H. Asghar, A. Negi, and N. Mohammadzadeh, "Principle application and vision in Internet of Things (IoT)," *Int. Conf. Comput. Commun. Autom. ICCCA 2015*, pp. 427–431, 2015, doi: 10.1109/CCAA.2015.7148413.
- [7] M. Dachyar, T. Y. M. Zagloel, and L. R. Saragih, "Knowledge growth and development: internet of things (IoT) research, 2006–2018," *Heliyon*, vol. 5, no. 8, 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02264.
- [8] M. Divyashree and H. G. Rangaraju, "Internet of things (IoT): A survey," *2018 Int. Conf. Networking, Embed. Wirel. Syst. ICNEWS 2018 - Proc.*, 2018, doi: 10.1109/ICNEWS.2018.8903919.
- [9] B. B. Gupta and M. Quamara, "An overview of Internet of Things (IoT): Architectural aspects, challenges, and protocols," *Concurr. Comput. Pract. Exp.*, vol. 32, no. 21, 2020, doi: 10.1002/cpe.4946.
- [10] Z. H., H. A., and M. M., "Internet of Things (IoT): Definitions, Challenges and Recent Research Directions," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 128, no. 1, pp. 37–47, 2015, doi: 10.5120/ijca2015906430.
- [11] H. K. Adli *et al.*, "Recent Advancements and Challenges of AIoT Application in Smart Agriculture: A Review," *Sensors*, vol. 23, no. 7, 2023, doi: 10.3390/s23073752.
- [12] H. Ait Issad, R. Aoudjit, and J. J. P. C. Rodrigues, "A comprehensive review of Data Mining techniques in smart agriculture," *Eng. Agric. Environ. Food*, vol. 12, no. 4, pp. 511–525, 2019, doi: 10.1016/j.eaef.2019.11.003.
- [13] M. Altalak, M. A. Uddin, A. Alajmi, and A. Rizg, "Smart Agriculture Applications Using Deep Learning Technologies: A Survey," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 12, 2022, doi: 10.3390/app12125919.
- [14] M. Ayaz, M. Ammad-Uddin, Z. Sharif, A. Mansour, and E. H. M. Aggoune, "Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 129551–129583, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2932609.
- [15] H. Azadi *et al.*, "Rethinking resilient agriculture: From Climate-Smart Agriculture to Vulnerable-Smart Agriculture," *J. Clean. Prod.*, vol. 319, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128602.
- [16] T. Bandyopadhyay, M. Muthamilarasan, and M. Prasad, "Millets for next generation climate-smart

- agriculture,” *Front. Plant Sci.*, vol. 8, 2017, doi: 10.3389/fpls.2017.01266.
- [17] P. M. Barasa, C. M. Botai, J. O. Botai, and T. Mabhaudhi, “A review of climate-smart agriculture research and applications in Africa,” *Agronomy*, vol. 11, no. 6, 2021, doi: 10.3390/agronomy11061255.
- [18] R. R. Boralkar and S. S. Kulkarni, “IoT Based Smart Agriculture System Using ESP32,” *Interdiscip. Conf. Electr. Comput. INTCEC 2024*, 2024, doi: 10.1109/INTCEC61833.2024.10602915.
- [19] A. Chandra, K. E. McNamara, and P. Dargusch, “Climate-smart agriculture: perspectives and framings,” *Clim. Policy*, vol. 18, no. 4, pp. 526–541, 2018, doi: 10.1080/14693062.2017.1316968.
- [20] Z. Chunjiang, *State-of-the-art and recommended developmental strategic objectivs of smart agriculture*, vol. 1, no. 1. cabidigitallibrary.org, 2019. doi: 10.5555/20219847453.
- [21] S. Anto and Arie Atwa Magriyanti, “Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Tanah Sawah Dengan Parameter Suhu Dan Kelembaban Tanah Menggunakan Arduino Berbasis Internet Of Things (Iot),” *Elkom J. Elektron. dan Komput.*, vol. 15, no. 2, pp. 234–241, 2022, doi: 10.51903/elkom.v15i2.896.
- [22] A. Arafat, S. Ratna, W. Wagino, and I. Ibrahim, “PERANCANGAN DAN PENGUJIAN ALAT UNTUK MONITORING KELEMBABAN TANAH DAN PEMBERIAN PUPUK CAIR PADA TANAMAN CABAI BERBASIS INTERNET Of THINGS,” *Technol. J. Ilm.*, vol. 12, no. 4, p. 286, 2021, doi: 10.31602/tji.v12i4.5639.
- [23] Ardiyallah Akbar, “Inplementasi Internet of Things Untuk Monitoring Kelembaban Tanah Menggunakan Mikrokontroler,” *J. Kecerdasan Buatan dan Teknol. Inf.*, vol. 2, no. 2, pp. 91–97, 2023, doi: 10.69916/jkbt.v2i2.32.
- [24] P. Asriya and M. Yusfi, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Kelembaban Tanah Menggunakan Wireless Sensor Berbasis Arduino Uno,” *J. Fis. Unand*, vol. 5, no. 4, pp. 327–333, 2016, doi: 10.25077/jfu.5.4.327-333.2016.
- [25] S. N. Aurellia, “Implementasi Sistem Monitoring Kelembaban Tanah, Ph Tanah Dan Intensitas Cahaya Tanaman Lahan Terbuka Dengan Wsn Berbasis Modul Nrf24L01,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3S1, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3s1.5263.
- [26] R. Daniel, “Rancang Bangun Alat Monitoring Kelembaban, PH Tanah dan Pompa Otomatis Berbasis Arduino,” *J. Appl. Comput. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 208–212, 2022, doi: 10.52158/jacost.v3i2.384.
- [27] N. Effendi, Dedi Handoko, Fauzan Azim, and Fitri Farida, “Rancangan sistem monitoring kelembapan tanah pembibitan kelapa sawit berbasis internet of things,” *J. CoSciTech (Computer Sci. Inf. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 358–366, 2024, doi: 10.37859/coscitech.v5i2.7572.
- [28] M. N. Gani, Hepi Ludyati, Rifa Hanifatunnisa, Eril Mozef, and Rizqa Nur Ananti, “Sistem Pemantauan Kelembaban Tanah Jarak Jauh Berbasis LoRa Menggunakan Sensor pH dan Kelembaban,” *J. Tek. Media Pengemb. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 22, no. 2, pp. 153–161, 2023, doi: 10.55893/jt.vol22no2.564.
- [29] R. Ginanjar, R. Candra, and S. B. Kembaren, “Kendali Dan Pemantauan Kelembaban Tanah, Suhu Ruangan, Cahaya Untuk Tanaman Tomat,” *J. Ilm. Inform. Komput.*, vol. 23, no. 3, pp. 166–174, 2018, doi: 10.35760/ik.2018.v23i3.2372.
- [30] R. Gunawan, T. Andhika, . S., and F. Hibatulloh, “Monitoring System for Soil Moisture, Temperature, pH and Automatic Watering of Tomato Plants Based on Internet of Things,” *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 7, no. 1, pp. 66–78, 2019, doi: 10.34010/telekontran.v7i1.1640.
- [31] Hanum Fauziah Isnanto and Suprayogi, “Sistem Monitoring Kelembaban Tanah Pada Tanaman Kacang Hijau

- Berbasis Internet Of Things,” *J. Ilm. Tek. Mesin, Elektro dan Komput.*, vol. 3, no. 3, pp. 587–600, 2023, doi: 10.51903/juritek.v3i3.2831.
- [32] I. M. D. Heriyawan, K. D. Widnyana, K. D. S. A. Darma, I. M. Budiada, and I. B. I. Purnama, “Analisis Monitoring Dan Kontrol Nilai Kelembaban Tanah Dengan Sistem Smart Farming Dan Soil Meter,” *J. Teknol. Pertan. Andalas*, vol. 26, no. 1, pp. 92–101, 2022, doi: 10.25077/jtpa.26.1.92-101.2022.
- [33] H. Husdi, “Monitoring Kelembaban Tanah Pertanian Menggunakan Soil Moisture Sensor Fc-28 Dan Arduino Uno,” *Ilk. J. Ilm.*, vol. 10, no. 2, pp. 237–243, 2018, doi: 10.33096/ilkom.v10i2.315.237-243.
- [34] I. A. Azam, H. Pujiharsono, and S. Indriyanto, “SISTEM IRIGASI TETES MENGGUNAKAN SENSOR KELEMBAPAN TANAH YL-69 BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT),” *Teodolita Media Komunkasi Ilm. di Bid. Tek.*, vol. 24, no. 1, pp. 65–73, 2023, doi: 10.53810/jt.v24i1.477.
- [35] K. Edistira, S. Samsugi, and S. Styawati, “Pengembangan Sistem Pengukur Curah Hujan Otomatis Berbasis Iot dan Monitoring Suhu Lingkungan Menggunakan Sensor SHT31,” *J. Locus Penelit. dan Pengabd.*, vol. 4, no. 10, pp. 9907–9920, 2025, doi: 10.58344/locus.v4i10.4983.
- [36] N. Effendi, W. Ramadhani, and F. Farida, “Perancangan Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembapan Tanah Berbasis IoT,” *J. CoSciTech (Computer Sci. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 91–98, 2022, doi: 10.37859/coscitech.v3i2.3923.
- [37] N. Effendi, W. Ramadhani, and F. Farida, “Perancangan Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembapan Tanah Berbasis IoT,” *J. CoSciTech (Computer Sci. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 91–98, 2022, doi: 10.37859/coscitech.v3i2.3923.
- [38] A. Furqan, Imilda, and T. Iqbal, “Perancangan dan Pengembangan Sistem Pengendali Kelembaban Tanah Berbasis Arduino Uno untuk Tanaman Hias,” *J. Ilmu Komput. dan Teknol. Inf.*, vol. 2, no. 2, pp. 60–75, 2025, doi: 10.63447/jikti.v2i2.1465.
- [39] I. K. A. R. Gunawan, N. P. R. Artini, I. W. T. Aryasa, and I. K. A. Sugianta, “Rancang Bangun Alat Pengukur Unsur Hara dan Kelembapan Tanah Menggunakan Sensor NPK, Sensor Kelembapan Kapasitif, dan Mikrokontroler Arduino Nano,” *J. Resist. (Rekayasa Sist. Komputer)*, vol. 7, no. 2, pp. 91–99, 2024, doi: 10.31598/jurnalresistor.v7i2.1608.
- [40] L. Haidar, “Rancang Bangun Alat Ukur Kelembapan Tanah Menggunakan Sensor Soil Moisture pada Duku Tambakroto,” *J. Ilm. Sist. Inf.*, vol. 2, no. 1, pp. 70–78, 2023, doi: 10.51903/juisi.v2i1.573.
- [41] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Maktsuful Ghummah, Moh. Amrullah, and Rafli Hidayatullah, *Studi Kinerja Mesh Network untuk Penerapan Internet of Things (IoT) di Lingkungan Perkotaan*, vol. 5, no. 1. researchgate.net, 2025. doi: 10.55606/jitek.v5i1.5895.
- [42] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Dea Aulia Siswoyo, M. Idris Ainul Yaqin, and Rica Oktavia, *Tinjauan Regulasi Siber dan Kebijakan Keamanan Jaringan 5G: Perspektif Nasional dan Internasional*, vol. 5, no. 1. researchgate.net, 2025. doi: 10.55606/jitek.v5i1.6141.
- [43] F. P. Eka Putra, F. I. Maulana, N. M. Akbar, and W. Febriantoro, “Twitter sentiment analysis about economic recession in indonesia,” *Bull. Soc. Informatics Theory Appl.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2023, doi: 10.31763/businta.v7i1.592.
- [44] F. P. E. Putra, K. Mufidah, R. M. Ilhamsyah, S. A. Efendy, and S. N. R. Barokah, “Tinjauan Performa RouterOS Mikrotik dalam Jaringan Internet: Analisis Kinerja dan Kelayakan,” *Digit. Transform. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 903–910, 2024, doi: 10.47709/digitech.v3i2.3446.
- [45] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Mustafida Mustafida, Royhan Alfadili, and Afifatun Nahriyah, “Perancangan

- Jaringan Nirkabel Berbasis Mesh untuk Menunjang Aplikasi Smart City,” *J. Inform. Dan Teknologi Komput.*, vol. 5, no. 1, pp. 84–92, 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i1.5934.
- [46] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Dian Tri Agustina, Triana Selvia Khusnul Khotimah, and Tarisha Ramadhanty, “Analisis Kinerja Jaringan 5G dalam Meningkatkan Konektivitas Internet of Things (IoT),” *J. Inform. Dan Teknologi Komput.*, vol. 5, no. 1, pp. 56–62, 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i1.5836.
- [47] F. P. Eka Putra, L. Fitriyah, Z. Naimah, and S. A. Rofika, “Evaluasi Kinerja Aplikasi Wireshark Dalam Monitoring Jaringan Kecil Dengan Topologi Star dan Bus,” *J. Ilm. Ilk. - Ilmu Komput. Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 164–176, 2025, doi: 10.47324/ilkominfo.v8i2.343.
- [48] F. P. Eka Putra, . S., A. Ramadhani, and . M., “Integrasi Teknologi Kuantum dan fiber Optik untuk Meningkatkan Keamanan dan Efisiensi Jaringan Masa Depan,” *J. Ilm. Ilk. - Ilmu Komput. Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 151–163, 2025, doi: 10.47324/ilkominfo.v8i2.342.
- [49] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Debri Eko Arissandi, Achmad Rofiqi, and Moh Firman Hidayat, “Pemanfaatan Mikrotik Dalam Manajemen Bandwidth Pada Jaringan Sekolah,” *J. Inform. Dan Teknologi Komput.*, vol. 5, no. 1, pp. 93–101, 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i1.5938.
- [50] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Yogi Setiawan, Samsul Arifin, and Wahyu Hidayatullah, “Peran VPN dalam Menjaga Privasi Pengguna Jaringan Publik,” *J. Inform. Dan Teknologi Komput.*, vol. 5, no. 1, pp. 27–33, 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i1.5834.
- [51] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Noviyani Dwi Saputri, Fathur Rosi, and Rohilia Loati, “Optimalisasi Infrastruktur Cloud Networking melalui Integrasi SDN, NFV, dan Multi-Cloud,” *J. Inform. Dan Teknologi Komput.*, vol. 5, no. 1, pp. 118–125, 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i1.6099.
- [52] F. P. Eka Putra, F. Muslim, N. Hasanah, Holipah, R. Paradina, and R. Alim, “Analisis Komparasi Protokol Websocket dan MQTT Dalam Proses Push Notification,” *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, pp. 63–72, 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.325.
- [53] F. P. E. Putra, I. N. S. Degeng, S. Ulfa, and W. Kamdi, “The Evolution of Quality Education: Impacts and Challenges of Using Open Educational Resources (OER) and Open Educational Practices (OEP) in the Conceive - Design - Implement - Operate (CDIO) Framework,” *TEM J.*, vol. 13, no. 1, pp. 386–395, 2024, doi: 10.18421/TEM131-40.