



Implementasi Perangkat IoT Terdistribusi untuk Pengendalian dan Pemantauan Irigasi Air Menggunakan Metode Drip dan Penyemprotan Nutrisi dalam Sistem Pertanian Cerdas

Eka Stephani Sinambela^{*}, Jessica Panjaitan, F. Salmonso Pakpahan, Jenris Simamora, Frengki Simatupang, Gerry Italiano Wowiling, Marojahan Mula Timbul Sigiros, Istas Pratomo Manalu, Sari Muthia Silalahi, Pandapotan Siagian

Vokasi, D3 Teknologi Komputer, Institut Teknologi Del, Toba Samosir

Jl. Sisingamangaraja, Sitoluama, Laguboti, Toba, Sumatera Utara, Indonesia

Email: ^{1,*}eka@del.ac.id, ²ce321025@students.del.ac.id, ³ce321032@students.del.ac.id, ⁴ce321037@students.del.ac.id, ⁵frengki.simatupang@del.ac.id, ⁶gerry@del.ac.id, ⁷marojahan@del.ac.id, ⁸istas.manalu@del.ac.id, ⁹sari.silalahi@del.ac.id, ¹⁰pandapotan.siagian@del.ac.id

Email Penulis Korespondensi: eka@del.ac.id

Submitted: 13/03/2025; Accepted: 08/04/2025; Published: 12/04/2025

Abstrak—Teknologi Internet of Things (IoT) dapat meningkatkan produktivitas pertanian melalui sistem pemantauan dan pengendalian otomatis. Namun, banyak sistem IoT yang ada saat ini masih bersifat terpusat dan kurang fleksibel, sehingga sulit diintegrasikan dengan sistem lain di lapangan. Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan dan pengendalian otomatis yang terdistribusi dan modular (plugin) untuk pemeliharaan kelembaban tanah, khususnya dalam budidaya kentang. Sistem ini menggunakan sensor kelembaban tanah untuk mengukur tingkat kelembaban, yang diolah oleh mikrokontroler ESP32. Data tersebut digunakan untuk mengatur aliran irigasi secara otomatis, menjaga kelembaban tanah dalam rentang optimal untuk tanaman kentang. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan fitur backup yang memungkinkan pengoperasian manual saat terjadi gangguan pada sistem otomatis. Uji coba sistem menunjukkan bahwa sistem ini efektif dalam mempertahankan kelembaban tanah pada tingkat optimal. Fitur manual memastikan sistem tetap berfungsi jika terjadi gangguan. Dengan demikian, sistem ini dapat meningkatkan efisiensi dan ketahanan pengelolaan lahan pertanian, terutama dalam kondisi lingkungan yang dinamis.

Kata Kunci: Sistem Pemantauan; Pengendalian Otomatis; Sistem Terdistribusi; Budidaya Kentang; Efisiensi Pertanian.

Abstract—Internet of Things (IoT) technology can enhance agricultural productivity through automated monitoring and control systems. However, many existing IoT systems are still centralized and inflexible, making integration with other systems in the field challenging. This research develops a distributed and modular (plugin) automated monitoring and control system for soil moisture management, specifically for potato cultivation. The system utilizes soil moisture sensors to measure moisture levels, which are processed by an ESP8266 microcontroller. The data is used to automatically control irrigation flow, maintaining soil moisture within the optimal range for potato plants. Additionally, the system includes a backup feature that allows manual operation in case of automatic system failure. Field tests demonstrate that the system effectively maintains soil moisture at optimal levels. Its manual operation feature also ensures continued functionality during disruptions. Therefore, this system is expected to improve efficiency and resilience in agricultural land management, particularly in dynamic environmental conditions.

Keywords: Monitoring System; Automatic Control; Distributed System; Potato Cultivation; Agricultural Efficiency

1. PENDAHULUAN

Penggunaan teknologi Internet of Things (IoT) dalam pertanian modern telah membuka peluang bagi terciptanya sistem pemantauan dan pengendalian otomatis yang dapat meningkatkan produktivitas tanaman. Contoh sistem otomatisasi yang dapat diterapkan oleh petani adalah sistem penyiraman tanaman [1]. Salah satu tanaman yang sangat bergantung pada stabilitas kondisi lingkungan adalah kentang [2]. Meskipun demikian, banyak sistem IoT yang saat ini digunakan masih bersifat terpusat dan kurang fleksibel, sehingga menimbulkan tantangan dalam hal penyesuaian dan integrasi dengan sistem lain yang ada di lapangan. Untuk mengatasi keterbatasan ini, diperlukan sistem IoT yang terdistribusi dan bersifat modular (plugin), yang mampu memberikan fleksibilitas dan adaptabilitas yang lebih besar. Selain itu, keberlanjutan operasional sistem menjadi faktor penting, terutama dalam menghadapi situasi di mana energi atau konektivitas tidak selalu stabil. Oleh karena itu, integrasi fitur backup yang memungkinkan pengoperasian manual saat terjadi gangguan menjadi sangat penting. Penelitian ini berfokus pada pengembangan dan pengujian sistem pemantauan dan pengendalian otomatisasi yang memanfaatkan perangkat IoT terdistribusi dan modular. Selain itu, penelitian ini juga akan mengeksplorasi bagaimana sistem tersebut dapat diintegrasikan dengan fitur backup untuk memastikan kelangsungan operasi secara manual jika diperlukan. Dengan pendekatan ini, diharapkan sistem yang dihasilkan mampu meningkatkan efisiensi dan ketahanan dalam berbagai kondisi pertanian yang dinamis.

Kentang merupakan salah satu komoditas hortikultura yang mempunyai peranan penting dalam menjamin ketahanan pangan, terutama di dataran tinggi. Pemantauan kelembaban tanah dan perawatan tanaman kentang merupakan kunci pertumbuhan dan perkembangan kentang yang baik [3]. Kelembaban tanah pada suatu tanah dipengaruhi oleh kadar air yang terkandung dalam tanah tersebut [1]. Untuk itu diperlukan sistem monitoring otomatis untuk mengamati kondisi lahan tempat penanaman bibit kentang dan sistem pengontrol kelembaban yang dapat memudahkan pekerjaan. Nilai 50% hingga 70% adalah kelembaban tanah ideal untuk tanaman kentang.

Pengembangan desain ini memanfaatkan wireless fidelity (wifi). Perangkat ini menjaga kelembaban kurang dari 40%. Jika kurang dari 40% maka sensor akan mendeteksi sehingga sistem pengairan akan berjalan dan sistem akan berhenti jika mencapai 70% [2].

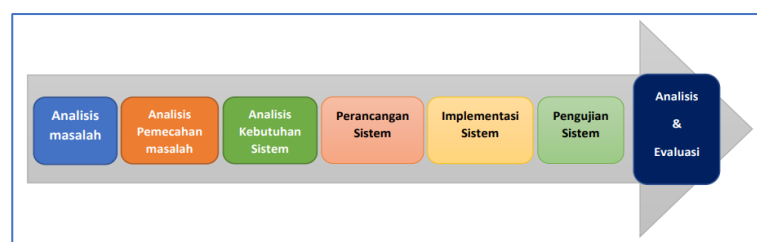
Berikut beberapa penelitian membahas terkait sistem Monitoring dan controlling, sistem pemupukan, Penyiraman Air, Pengukuran kelembaban tanah, pengukuran ketinggian air, sistem irigasi tetes berbasis IoT. Penelitian oleh Eko Budiraharjo [4] mengembangkan sistem pemantauan dan penyiraman otomatis berbasis IoT untuk budidaya kentang, di mana penggunaan sensor suhu dan kelembaban berbasis Arduino dengan akurasi hingga 99% dapat memantau kondisi tanah secara akurat, meningkatkan hasil panen, serta menyederhanakan proses pengukuran dengan hanya memerlukan pasokan listrik dan telepon seluler. Samratul fuady [5] mengembangkan sistem smart home berbasis IoT dengan model terdistribusi menggunakan tiga node untuk meningkatkan keandalan, dilengkapi sensor keamanan, serta dapat diakses jarak jauh dengan rata-rata delay 2,21 detik. Penelitian Rusli [6] menganalisis implementasi smart farming berbasis IoT dengan menekankan pentingnya manajemen perubahan dalam adaptasi terhadap Revolusi Industri 4.0, sementara penelitian oleh Eko Supriyanto [2] yaitu “Design of a Water Sprinkler System and Monitoring of Soil Moisture in Potato Cultivation of the Kledung Horticulture Seed Center based on the Internet of Things (IoT)”, Sistem pemantauan dan kontrol otomatis berbasis WiFi ini dirancang untuk menjaga kelembaban tanah tanaman kentang pada kisaran ideal 40%-70% serta memantau pH, suhu, dan kelembaban melalui aplikasi Android. Dengan tingkat akurasi sensor yang tinggi, sistem ini dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam budidaya kentang.” Penelitian sebelumnya telah mengembangkan berbagai sistem berbasis IoT untuk pemantauan dan pengendalian otomatis dalam pertanian, termasuk pemantauan kelembaban tanah, penyiraman otomatis, dan sistem pemupukan. Namun, sebagian besar sistem yang dikembangkan masih bersifat terpusat, sehingga memiliki keterbatasan dalam fleksibilitas, kemudahan adaptasi, dan ketahanan terhadap gangguan, seperti yang terlihat dalam penelitian Eko Budiraharjo dan Eko Supriyanto. Selain itu, penelitian sebelumnya lebih berfokus pada monitoring dan controlling, tetapi kurang memperhatikan aspek keberlanjutan operasional serta kemudahan penggunaan bagi petani, terutama dalam menghadapi kendala seperti keterbatasan pasokan listrik atau konektivitas jaringan.

Penelitian sebelumnya mengembangkan sistem berbasis IoT yang masih bersifat terpusat, sehingga kurang fleksibel dan sulit beradaptasi dengan berbagai kondisi. Selain itu, fokus utama penelitian sebelumnya lebih kepada monitoring dan controlling, seperti pemantauan kelembaban tanah, penyiraman otomatis, dan sistem pemupukan, tanpa mempertimbangkan keberlanjutan operasional dan kemudahan penggunaan bagi petani. Sistem yang dikembangkan juga sangat bergantung pada pasokan listrik dan konektivitas jaringan tanpa adanya fitur cadangan, sehingga rentan terhadap gangguan operasional. Selain itu, antarmuka yang digunakan masih kurang ramah pengguna, membuatnya sulit dioperasikan oleh petani yang tidak terbiasa dengan teknologi. Skalabilitas juga menjadi kendala karena sistem yang ada umumnya dirancang untuk kebutuhan spesifik, seperti budidaya kentang atau smart home, sehingga kurang fleksibel untuk diterapkan secara luas.

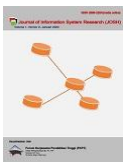
Penelitian yang akan dilakukan bertujuan untuk mengatasi keterbatasan tersebut dengan mengembangkan sistem IoT yang terdistribusi dan modular, yang tidak hanya lebih fleksibel dan mudah diintegrasikan dengan sistem lain tetapi juga lebih mudah dioperasikan dengan antarmuka yang intuitif, mudah diadaptasi, serta lebih tahan terhadap gangguan. Metode penelitian Prototyping digunakan untuk pengembangan Distributed Smart Farming System, memastikan bahwa setiap tahap perancangan dan implementasi dapat diuji serta disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Selain itu, penelitian ini akan mengintegrasikan fitur backup manual, yang memungkinkan sistem tetap dapat beroperasi tanpa ketergantungan penuh pada teknologi jika terjadi gangguan pada perangkat atau jaringan. Dengan pendekatan ini, sistem yang diusulkan tidak hanya meningkatkan efisiensi pemantauan dan kontrol pertanian berbasis IoT, tetapi juga lebih adaptif, ramah pengguna, dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan, sehingga dapat diterapkan dalam skala yang lebih luas dan mudah digunakan oleh berbagai kalangan petani.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan penelitian adalah langkah-langkah sistematis yang dilakukan oleh peneliti dalam suatu penelitian untuk mencapai tujuan tertentu. Setiap tahap memiliki fungsi spesifik yang membantu peneliti dalam mengidentifikasi masalah, mencari solusi, serta mengembangkan dan mengevaluasi hasil penelitian. Gambar 1 berikut adalah Model prototyping yang digunakan oleh peneliti [7].



Gambar 1. Tahapan pelaksanaan penelitian



Model pendekatan dalam melaksanakan penelitian yang dilakukan oleh peneliti untuk Distributed Smart Farming System (Study Case: Potato Plantation) menggunakan model prototyping, dapat dilihat pada langkah dibawah ini. Penelitian ini dilakukan melalui tujuh tahapan utama. Analisis Masalah dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan berdasarkan observasi dan studi literatur. Selanjutnya, pada Analisis Pemecahan Masalah, berbagai alternatif solusi dianalisis dan dipilih berdasarkan efektivitas serta efisiensi. Analisis Kebutuhan Sistem menentukan spesifikasi teknis perangkat keras dan lunak sesuai kebutuhan pengguna. Setelah itu, Perancangan Software dan Hardware dibuat dengan menyusun arsitektur sistem, pemilihan komponen, serta algoritma perangkat lunak. Tahap Implementasi Software dan Hardware merealisasikan rancangan dengan merakit perangkat dan mengintegrasikan sistem. Selanjutnya, Pengujian Software dan Hardware dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sensor, aktuator, dan perangkat lunak guna memastikan sistem berfungsi sesuai spesifikasi. Terakhir, Analisis Hasil dan Evaluasi membandingkan hasil pengujian dengan target, mengidentifikasi perbaikan yang diperlukan, serta menyusun rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut.

2.2 Analisis masalah dan pemecahan masalah

Pada pengembangan pengembangan sistem Enhancing Smart Farming System menghadapi beberapa tantangan utama, seperti keterbatasan dalam pemantauan tingkat air pada tangki, rendahnya akurasi pengukuran kelembaban tanah dan pemupukan, serta perlunya integrasi antara mode otomatis dan manual yang fleksibel. Selain itu, aspek efisiensi daya dan keteraturan desain perangkat keras juga menjadi perhatian, terutama dalam pengelolaan baterai dan penggunaan PCB untuk setiap Node IoT. Sebagai solusi, sistem ini dirancang dengan beberapa peningkatan, termasuk penambahan fitur monitoring dan controlling, pengisian dan pengukuran otomatis pada tangki air, serta kalibrasi sensor guna meningkatkan akurasi pengukuran. Penggunaan protokol MQTT memungkinkan komunikasi IoT yang lebih efisien [8][9], [10], sementara identifikasi perangkat berbasis ID unik memastikan integrasi yang lebih baik. Selain itu, dengan penerapan PCB tercetak dan algoritma pengelolaan daya berbasis panel surya, sistem ini tidak hanya lebih rapi tetapi juga lebih hemat energi. Dengan berbagai optimalisasi ini, sistem diharapkan mampu meningkatkan efisiensi, akurasi, dan kemudahan dalam pengelolaan pertanian kentang berbasis IoT, sehingga mendukung keberlanjutan dan produktivitas yang lebih baik.

2.3 Analisis Kebutuhan Sistem

Sistem otomatis berbasis IoT ini terdiri dari beberapa komponen perangkat keras utama yang bekerja secara terintegrasi untuk mendukung manajemen budidaya kentang. Tabel 1 menunjukkan daftar perangkat keras yang digunakan beserta fungsinya dalam sistem.

Tabel 1. Analisis kebutuhan perangkat keras

No	Hardware	Fungsi
1	ESP32	Mengontrol seluruh perangkat keras, menerima data sensor, mengatur solenoid valve, serta mengelola daya dari solar panel dan baterai untuk konektivitas IoT.
2	Sensor Soil Moisture	Mengukur kadar air dalam media tanam dan mengontrol pemberian air secara otomatis jika kelembaban terlalu rendah
3	Solenoid Valve	Mengatur aliran air atau pupuk dan pestisida secara otomatis berdasarkan data sensor dan dikendalikan oleh ESP32 melalui relay.
4	Sensor Ultrasonic	Memantau ketinggian larutan nutrisi dalam tangki dan memberikan peringatan atau pengisian ulang jika volume terlalu rendah.
5	Solar Panel Monocrystalline 120wp	Menyediakan daya utama bagi sistem dengan mengisi baterai agar tetap beroperasi tanpa listrik PLN.
6	Baterai 18650	Menyimpan daya dari solar panel untuk menjaga kelangsungan sistem saat tidak ada sinar matahari.
7	Relay	Berfungsi sebagai saklar elektronik untuk mengontrol perangkat tegangan tinggi seperti solenoid valve dengan aman.

Setiap perangkat dalam Tabel 1 memiliki peran penting dalam memastikan sistem dapat berfungsi secara optimal. ESP32 bertindak sebagai pusat kendali utama yang mengoordinasikan berbagai sensor dan aktuator. Sensor soil moisture dan sensor ultrasonik bekerja untuk memantau kondisi lingkungan, sementara solenoid valve dan relay mengontrol aliran air dan pupuk secara otomatis. Sistem juga dilengkapi dengan sumber daya mandiri berupa solar panel dan baterai agar tetap beroperasi tanpa ketergantungan pada listrik PLN. Dalam pengembangan sistem otomatis berbasis IoT ini, beberapa perangkat lunak digunakan untuk mendukung komunikasi data, visualisasi sistem, serta pengelolaan basis data. Tabel 2 merangkum daftar perangkat lunak yang digunakan beserta fungsinya dalam sistem.

Setiap perangkat lunak yang disebutkan dalam Tabel 2 memiliki peran penting dalam memastikan sistem dapat berfungsi secara optimal. Node-RED digunakan untuk merancang dan mengontrol alur kerja sistem IoT dengan pendekatan visual programming. Fritzing membantu dalam perancangan skema elektronik untuk mendukung integrasi perangkat keras. JSON digunakan sebagai format standar untuk pertukaran data antar

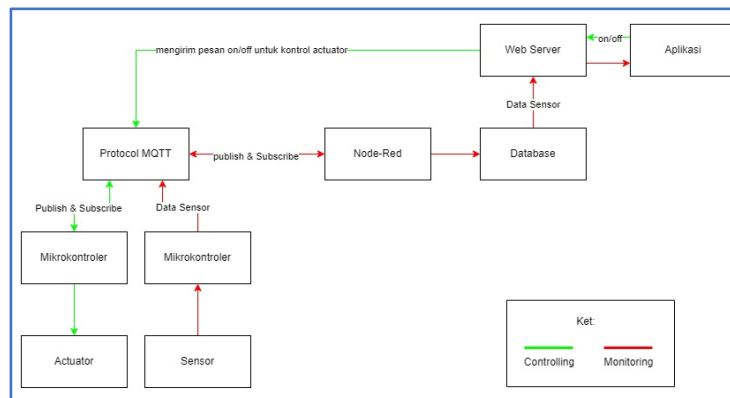
perangkat IoT, sementara MySQL berperan dalam penyimpanan dan pengelolaan data sistem. Selain itu, MQTT menjadi protokol utama dalam komunikasi data antarperangkat IoT untuk memastikan efisiensi dan kecepatan dalam pertukaran informasi.

Tabel 2. Analisis kebutuhan perangkat lunak

No	Software	Fungsi
1	Node-RED	Node-RED adalah aplikasi berbasis browser yang digunakan dalam lingkungan visual programming untuk mendesain flow sistem IoT
2	Fritzing	Fritzing adalah perangkat lunak open-source yang digunakan untuk mendesain dan membuat skema rangkaian elektronik serta papan rangkaian cetak (PCB). Fungsi utamanya adalah memungkinkan pengguna membuat diagram skematik, memvisualisasikan jalur-jalur koneksi, dan merancang PCB
3	JSON	JSON (JavaScript Object Notation) adalah sebuah format yang digunakan untuk menyimpan dan menukar data informasi yang dapat dibaca yang berekstensi JSON
4	MySQL	MySQL merupakan database yang digunakan sebagai media penyimpanan data untuk aplikasi-aplikasi berukuran kecil maupun besar.
5	MQTT	MQTT (Message Queueing Telemetry Transport) adalah sebuah protocol machine-to-machine yang digunakan dalam IoT (Internet of Things).

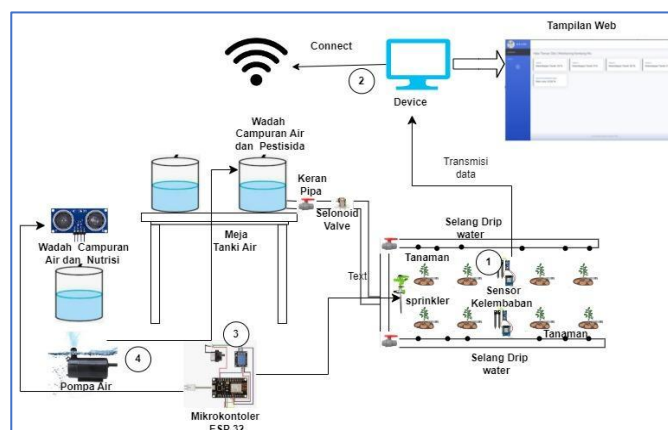
2.4 Perancangan Sistem

Peneliti menjelaskan bagaimana rancangan dari sistem yang dibuat dengan melibatkan penggunaan software dan hardware atau komponen yang membangun sistem seperti pada Gambar 2 dibawah.



Gambar 2. Diagram Sistem IoT dengan MQTT untuk Monitoring dan Kontrol

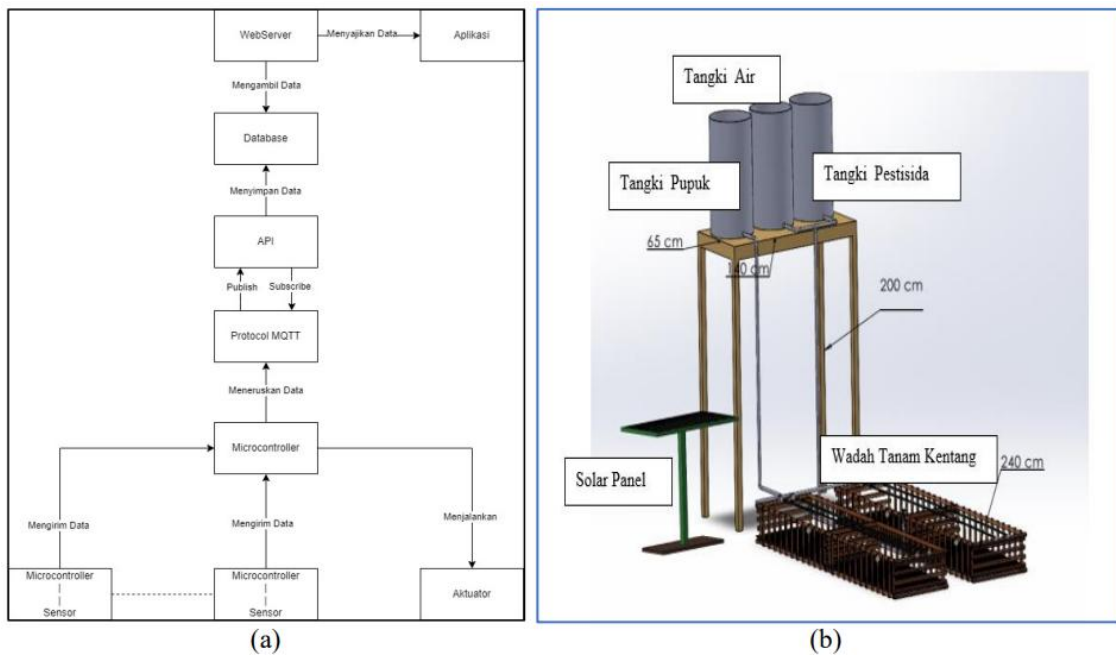
Perancangan arsitektur secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3 dibawah. Teknologi IoT menawarkan potensi besar dalam meningkatkan produktivitas pertanian melalui sistem pemantauan dan pengendalian otomatis [11], [12], [13]. Namun, banyak sistem IoT saat ini masih bersifat terpusat dan kurang fleksibel, yang menyulitkan integrasi dengan sistem lain di lapangan. Dalam konteks ini, peneliti mengembangkan sistem pemantauan dan pengendalian otomatis yang terdistribusi dan modular, dirancang khusus untuk pemeliharaan kelembaban tanah dalam budidaya kentang. Sistem dibawah menggunakan sensor kelembaban tanah yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 untuk mengatur irigasi secara otomatis, menjaga kondisi optimal tanah, serta menyediakan fitur backup untuk pengoperasian manual jika terjadi gangguan.



Gambar 3. Desain Arsitektur Sistem

Gambar 4.a menggambarkan Perancangan Arsitektur Sistem Terdistribusi yang dirancang untuk mendukung sistem pemantauan dan pengendalian otomatis yang modular dan fleksibel. Arsitektur ini melibatkan beberapa komponen utama, yaitu sensor kelembaban tanah yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 untuk mengukur dan mengirimkan data secara real-time. Mikrokontroler berfungsi sebagai node utama yang memproses dan mendistribusikan data melalui Protokol MQTT, sebuah protokol komunikasi yang memungkinkan pengiriman data secara efisien antara komponen sistem melalui mekanisme publish-subscribe [14][15].

Data yang dikumpulkan oleh mikrokontroler kemudian disimpan dalam database, yang diakses oleh API untuk memberikan akses data ke aplikasi lain yang terhubung ke sistem. WebServer dalam arsitektur ini mengambil data dari database dan menyajikan informasi tersebut ke aplikasi pengguna. Aktuator yang dikendalikan oleh mikrokontroler menjalankan tindakan fisik, seperti mengatur aliran air dalam sistem irigasi, berdasarkan data yang diterima dari sensor. Dengan arsitektur terdistribusi ini, sistem dapat beroperasi secara modular dan skalabel, memungkinkan pengembangan lebih lanjut serta integrasi dengan sistem lain yang ada di lapangan. Rancangan perangkat keras seperti Gambar 4.b menggabungkan penggunaan tenaga dari solar panel [16][17], [18], [19] untuk menyediakan energi yang dibutuhkan dalam pengoperasian beberapa komponen manual. Terdapat tiga tangki utama dalam sistem ini: Tangki Air, Tangki Pupuk, dan Tangki Pestisida, yang semuanya berfungsi untuk menyalurkan bahan-bahan tersebut secara manual ke wadah tanaman Kentang. Meskipun menggunakan tenaga surya, sistem ini tetap bersifat manual, di mana pengguna harus mengontrol aliran air, pupuk, dan pestisida secara langsung tanpa bantuan otomatisasi. Desain ini menawarkan solusi sederhana dan ramah lingkungan untuk pengelolaan irigasi dalam pertanian, meskipun masih memerlukan keterlibatan aktif dari operator.



Gambar 4. Perancangan: (a) Arsitektur Sistem Terdistribusi, (b) Perangkat Keras Sistem Irigasi Otomatis untuk Wadah Tanam Kentang

Sistem ini dikembangkan dengan beberapa pembagian proses kerja yang melakukan fungsi utama yaitu monitoring untuk menampilkan dan atau menyimpan data yang diinput dan controlling untuk mengendalikan parameter-parameter yang diuji. Komponen-komponen yang membangun fungsi-fungsi tersebut saling berkaitan untuk memenuhi parameter yang diuji dengan alur yang dapat dikelompokkan sebagai berikut. Kelembaban tanah: Tabel 3 berikut menjelaskan tentang kondisi operasi pompa berdasarkan nilai kelembaban tanah dan tindakan yang diterapkan:

Tabel 3. Nilai Ambang Kelembaban

Nilai Kelembaban	Pompa	Perlakuan
>50 % / >63%	On	Penyiraman
<50% / <48%	Off	Tanpa penyiraman

Pengendalian untuk pemupukan: Controlling terhadap pompa untuk pemupukan yang dilakukan secara semi-otomatis, yaitu: Sistem memiliki tombol pada bagian pemupukan di dashboard website. Ketika user menekan tombol ON, perintah dikirim kepada ESP32 untuk mengaktifkan actuator. selanjutnya ESP32 mengaktifkan Relay untuk mengalirkan arus listrik ke perangkat pompa sehingga dapat mengalirkan pupuk cair. Jika user menekan tombol OFF, maka pompa untuk mengalirkan pupuk cair berhenti. Pengukuran ketinggian Air: Sensor yang

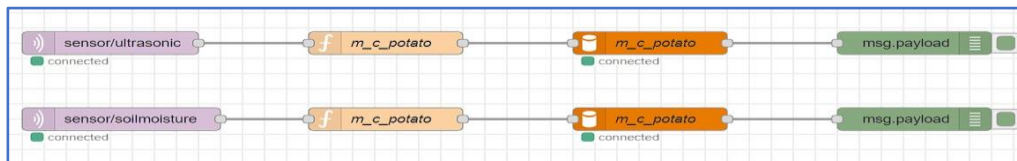
digunakan untuk pengukuran ketinggian air adalah sensor ultrasonic yang dikategorikan sebagai sensor yang cukup murah [20]. Setelah pengukuran, sistem memeriksa apakah data yang diperoleh valid. Jika ketinggian air kurang dari 20cm, pompa air dapat untuk menyiram kentang. Namun, jika ketinggian air mencapai atau melebihi 50cm, pompa air akan dihentikan. Selanjutnya, data ketinggian air ditampilkan pada dashboard untuk pemantauan. Dengan adanya keputusan berdasarkan tingkat ketinggian air, user dapat mengelola sistem pengukuran ketinggian air dan mengontrol operasi pompa air.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam menyelesaikan permasalahan yang ada peneliti melakukan penerapan Metode Prototyping, dalam metode ini dilakukan implementasi prototyping software MQTT, prototyping sensor kelembaban tanah, prototyping sensor ketinggian air, dan prototyping controlling dan monitoring antarmuka sistem. Hasil dari metode prototyping disajikan pada pembahasan dibawah.

3.1 Implementasi Prototyping Software MQTT

Implementasi dilakukan dengan melakukan instalasi, konfigurasi dan pemrograman pada perangkat lunak dan perangkat keras yang dibutuhkan seperti instalasi MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) yang menjadi protokol machine-to-machine yang digunakan dalam IoT. Protokol ini berperan untuk memfasilitasi pertukaran pesan dengan mekanisme publish dan subscribe antar klien dan server. Perangkat lunak lainnya adalah NODE-RED [21], [22] yang berfungsi sebagai platform untuk menyederhanakan pemrograman IoT dengan menggunakan konsep flow programming. Selanjutnya adalah implementasi perangkat keras seperti mikrokontroler ESP32, Sensor, perangkat keras lainnya yang dibutuhkan pada tahap implementasi. MQTT adalah salah satu protokol yang digunakan dengan mengaktifkannya melalui modul MQTT-in yang berfungsi menerima data dari NodeMCU [23] hasil dari input beberapa sensor, dan MQTT-out yang berfungsi untuk mengirimkan perintah kepada aktuator untuk menjalankan aksi. Gambar berikut merupakan cuplikan implementasi sensor kelembaban dan ultrasonik pada Node-RED.



Gambar 5. Implementasi sensor kelembaban dan ultrasonik pada Node-RED

Gambar 5 diatas merupakan alur pemrosesan data dari sensor menggunakan Node-RED dan protokol MQTT. Sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur ketinggian air, sedangkan sensor soil moisture mengukur kelembaban tanah. Data dari kedua sensor dikirim melalui broker MQTT dan diproses sebelum disimpan atau digunakan dalam sistem lainnya.

3.2 Implementasi prototyping Sensor Kelembaban Tanah

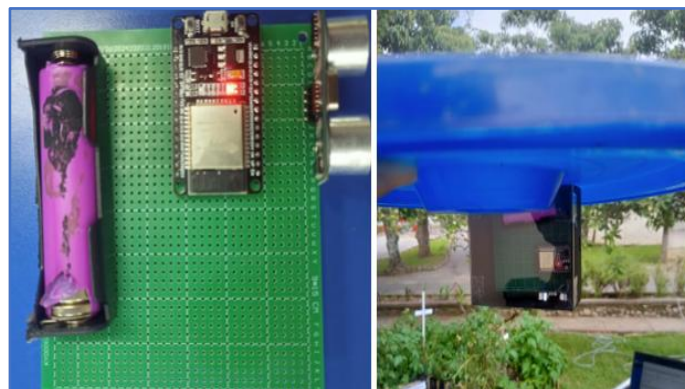
Pada Gambar 6 dibawah merupakan implementasi sensor kelembaban tanah yang dipasang ke tanah secara langsung dimana sensor tidak sepenuhnya menancap ke tanah dan hanya lempengan konduktor yang berada di dalam tanah. Hal ini disebabkan oleh lempengan tersebut mengandung bahan logam yang menjadikannya sebagai media untuk mengukur tingkat kelembaban tanah, dimana air yang mengenai lempengan ini mengalirkan tegangan analog ke NodeMCU. Oleh karena itu, sensor ini terhubung ke pin analog pada NodeMCU untuk diubah menjadi tegangan digital. Kemudian untuk melakukan aktivitas penyiraman otomatis diperlukan beberapa perangkat yaitu NodeMCU terhubung ke relay kedua untuk menghidupkan pompa air yang mengalirkan air ke tanah. Sistem ini digunakan untuk memantau kondisi tanah secara otomatis, yang sangat berguna dalam pertanian berbasis teknologi. Sensor-sensor ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan irigasi, memastikan tanaman mendapatkan air yang cukup tanpa pemborosan. Data yang dikumpulkan dikirimkan ke platform IoT melalui WiFi atau LoRa, memungkinkan pemantauan jarak jauh.



Gambar 6. Hasil Implementasi sensor kelembaban tanah

3.3 Implementasi Sensor Ketinggian Air

Implementasi Gambar 7 merupakan implementasi sensor ketinggian air pada gambar menunjukkan rangkaian berbasis mikrokontroler ESP32 yang berfungsi untuk memantau level air dalam tangki secara real-time. Rangkaian ini terdiri dari ESP32, sensor ultrasonik, dan baterai lithium 18650 sebagai sumber daya utama. Untuk memastikan konektivitas dan kestabilan rangkaian, penghubung pin dibuat pada PCB, memungkinkan integrasi komponen dengan lebih rapi dan aman. Selain itu, implementasi ini juga menggunakan metode yang serupa dengan sensor soil moisture YL-69 [24][25], di mana pin-pin sensor dihubungkan ke ESP32 menggunakan kabel jumper. Pada sistem ini, pin VCC sensor ultrasonic dihubungkan dengan pin 3.3V ESP32, pin GND ke pin GND ESP32, dan pin data sensor ultrasonik ke salah satu pin GPIO ESP32, yang memungkinkan ESP32 membaca data ketinggian air berdasarkan pantulan gelombang ultrasonik. Seluruh rangkaian ini dibuat dalam PCB, memastikan koneksi yang stabil dan tahan lama. Penggunaan baterai lithium 18650 sebagai sumber daya memastikan sistem tetap beroperasi meskipun tidak terhubung langsung ke sumber listrik utama. Data ketinggian air yang diperoleh dapat dikirimkan secara nirkabel melalui WiFi untuk ditampilkan dalam sistem pemantauan, memungkinkan pengguna mengontrol dan mengelola penggunaan air secara otomatis, terutama dalam sistem irigasi pintar atau pemantauan tangki air secara efisien.



Gambar 7. Hasil implementasi sensor ketinggian air

3.4 Implementasi Keseluruhan Sistem

Implementasi keseluruhan sistem dapat dilihat pada Gambar 8. Sistem tersebut terdiri dari Penggunaan wadah tanaman dengan plastik hitam membantu dalam menjaga kelembaban tanah dan mengontrol pertumbuhan gulma, terdapat sensor kelembaban tanah yang akan mengontrol aliran air sesuai kebutuhan tanaman, untuk mengoptimalkan penggunaan air dan meningkatkan efisiensi pertanian, menggunakan tandon air dan pipa distribusi untuk irigasi otomatis, Selain itu, sistem IoT ini juga menggunakan sumber daya listrik dari energi terbarukan dengan menggunakan panel surya. Sistem IoT untuk memonitor dan mengendalikan budidaya tanaman kentang secara keseluruhan dirancang untuk mengkamodir sistem automasi, namun juga adaptif jika terjadi kegagalan sistem dengan menggunakan sistem yang dapat dialihkan penggunaannya secara manual. Implementasi sistem IoT secara keseluruhan ditampilkan pada gambar berikut.

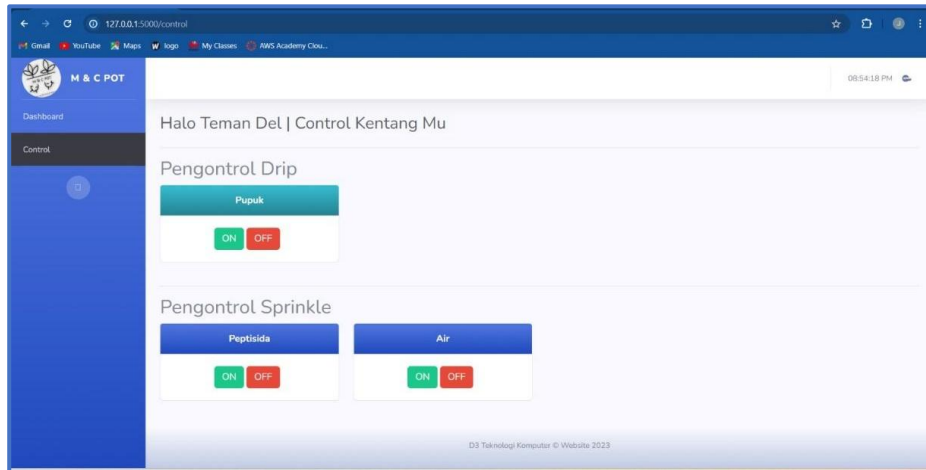


Gambar 8. Implementasi Sistem Otomatis dengan Tangki Air dan Wadah Tanam di Lingkungan Outdoor

3.5 Implementasi Antarmuka Controlling Sistem

Gambar 9 dibawah merupakan hasil implementasi software untuk antarmuka proses pemupukan secara manual melalui sistem web. Aplikasi ini digunakan untuk mengelola sistem irigasi pertanian secara otomatis, khususnya untuk tanaman kentang. Sistem memungkinkan pengguna untuk mengontrol pemberian pupuk, pestisida dan air

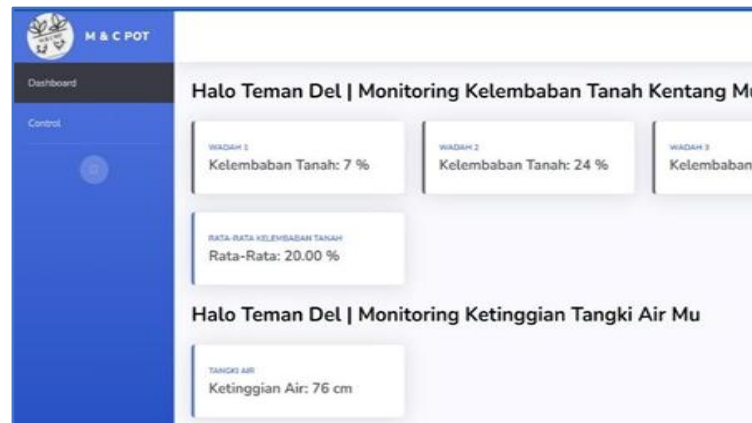
secara jarak jauh menggunakan antarmuka berbasis web. Pada bagian ini sistem hanya bekerja ketika user memberikan perintah melalui dashboard dengan input tombol ON. Kemudian melalui NodeMCU yang menerima perintah untuk menghubungkan perintah tersebut ke relay ketiga. Relay ketiga aktif untuk menghidupkan pompa kedua yang mengalirkan pupuk cair ke atas tanah. Fitur Pengontrolan melalui website adalah Pengontrol Drip (Irigasi Tetes): Memiliki dua tombol ON dan OFF untuk mengaktifkan atau mematikan pemberian pupuk dalam sistem irigasi tetes. Pengontrol Sprinkle (Penyemprot Air): Ada dua komponen yang dapat dikontrol yaitu Pupuk cair ("Pupuklain"), dengan tombol ON/OFF. Air, dengan tombol ON/OFF untuk mengaktifkan penyemprotan air.



Gambar 9. Antarmuka kontrol manual melalui website

3.6 Implementasi Antarmuka Monitoring Sistem

Berikut Gambar 10 adalah implementasi antarmuka untuk monitoring sistem IoT melalui website, pada halaman monitoring terdapat 2 bagian yang dimonitor yaitu Kelembaban tanah dan ketinggian air dalam tangki. Pada Monitoring kelembaban tanah terdapat empat wadah yang masing-masing dapat dipantau nilai kelembaban tanahnya dan akan ditampilkan nilai rata-rata kelembaban tanah dari keempat wadah tersebut. Pada monitoring ketinggian tangki air hanya menyajikan berapa nilai pembacaan sensor terkait ketinggian air dalam satuan cm.



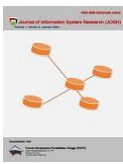
Gambar 10. Antarmuka monitoring kelembaban tanah dan ketinggian air

3.7 Pengujian dan Hasil Pembahasan

Sensor YL-69 digunakan untuk mengukur kelembaban tanah dalam media tanam. Pengujian dilakukan sebelum penyiraman untuk mendapatkan kondisi awal, yang tercatat pada 55%. Setelah sistem melakukan penyiraman dengan 100 ml air, sensor mendeteksi peningkatan kelembaban tanah menjadi 66%. Hasil pengujian sensor kelembaban tanah disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian sensor kelembaban tanah

No	ID Sensor	Nilai Kelembaban Tanah (%)	Tanggal dan Jam
1	sensor2	84	2024-05-14 23:03:45
2	sensor1	86	2024-05-14 23:03:45
3	sensor3	61	2024-05-14 23:03:45
4	sensor4	20	2024-05-14 23:03:48
5	sensor3	28	2024-05-14 23:03:50



No	ID Sensor	Nilai Kelembaban Tanah (%)	Tanggal dan Jam
6	sensor1	44	2024-05-14 23:03:51
7	sensor2	71	2024-05-14 23:03:51
8	sensor4	21	2024-05-14 23:03:53
9	sensor3	32	2024-05-14 23:03:55
10	sensor1	46	4-05-14 3:03:57

Berdasarkan data yang diperoleh dari empat sensor kelembaban tanah (sensor1, sensor2, sensor3, sensor4) pada 14 Mei 2024, ditemukan beberapa pola dalam hasil pengukuran: Kelembaban tertinggi tercatat 86% (sensor1, 23:03:45) yang menunjukkan tanah dalam kondisi sangat lembab atau jenuh air. Kelembaban terendah tercatat 20% (sensor4, 23:03:48) yang mengindikasikan tanah dalam kondisi sangat kering. Fluktuasi nilai kelembaban cukup besar dalam waktu singkat, terutama pada sensor3 dan sensor4. Sensor2 dan sensor1 menunjukkan nilai yang relatif tinggi pada awal pengukuran, tetapi sensor1 mengalami penurunan signifikan dalam 12 detik (dari 86% menjadi 44%). Sensor3 menunjukkan perubahan kelembaban yang drastis, dari 61% (23:03:45) turun menjadi 28% (23:03:50), kemudian naik sedikit menjadi 32% (23:03:55).

Sensor kelembaban tanah bekerja dengan mengukur resistansi dan kapasitansi tanah untuk menentukan kadar air yang tersimpan. Perbedaan nilai antara sensor bisa disebabkan oleh variasi kadar air pada setiap titik pengukuran, karena tanah tidak selalu memiliki distribusi air yang merata. Sensor4 menunjukkan nilai kelembaban yang sangat rendah (20-21%), yang bisa berarti tanah di lokasi sensor ini lebih kering dibandingkan area lain. Dari hasil pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa sensor YL-69 dan sistem bekerja sesuai dengan yang diharapkan, yang tercermin dalam sistem pemantauan yang merekam perubahan nilai suhu yang terdeteksi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kelembaban tanah bervariasi cukup signifikan antar sensor, dengan nilai tertinggi 86% dan terendah 20%. Faktor utama yang mempengaruhi hasil adalah posisi sensor, distribusi air dalam tanah, jenis tanah, dan kecepatan perubahan kelembaban. Untuk meningkatkan akurasi, disarankan untuk menstandarisasi kedalaman sensor, menggunakan rata-rata data, dan melakukan pengukuran dengan interval lebih panjang.

Sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur ketinggian air dalam tangki sebelum penambahan atau pengurangan air. Misalnya, ketinggian awal air tercatat 20 cm. Data dari sensor ini dimanfaatkan untuk mengontrol sistem pompa air melalui website.

Tabel 5. Hasil pengujian ketinggian air

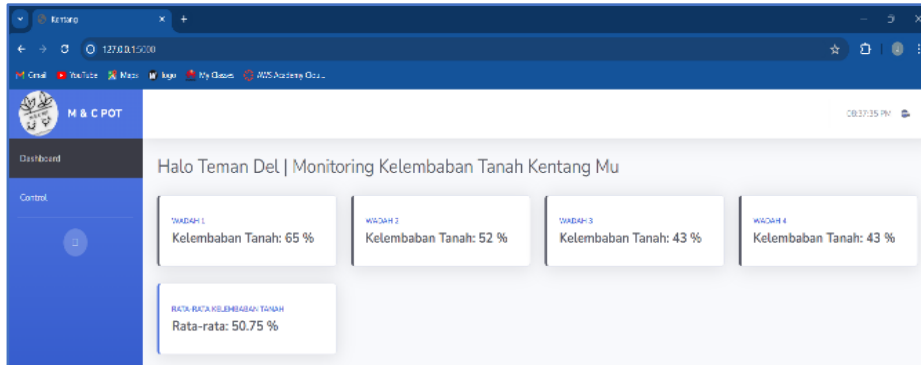
No	ID Sensor	Nilai Ketinggian Air (cm)	Tanggal dan Jam
1	sensor_ultrasonic	68	2024-05-14 22:56:52
2	sensor_ultrasonic	66	2024-05-14 22:56:54
3	sensor_ultrasonic	68	2024-05-14 22:56:56
4	sensor_ultrasonic	52	2024-05-14 22:56:58
5	sensor_ultrasonic	55	2024-05-14 22:57:00
6	sensor_ultrasonic	77	2024-05-14 22:57:02
7	sensor_ultrasonic	64	2024-05-14 22:57:04
8	sensor_ultrasonic	67	2024-05-14 22:57:06
9	sensor_ultrasonic	67	2024-05-14 22:57:08
10	sensor_ultrasonic	83	2024-05-14 22:57:10

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5 yang dilakukan pada 14 Mei 2024, nilai ketinggian air yang diukur oleh sensor ultrasonik menunjukkan fluktuasi dengan rentang antara 52 cm hingga 83 cm dalam kurun waktu sekitar 18 detik. Berikut adalah beberapa pola yang dapat diamati: Ketinggian awal (68 cm) cenderung stabil pada awal pengujian (baris 1 dan 3). Terjadi penurunan drastis (52 cm pada baris 4), yang bisa disebabkan oleh perubahan permukaan air akibat gangguan eksternal atau pergerakan cairan. Setelah titik terendah (52 cm), ketinggian kembali meningkat bertahap hingga mencapai 77 cm (baris 6). Fluktuasi terjadi dengan variasi nilai yang cukup besar, misalnya lonjakan dari 55 cm ke 77 cm dalam selang 2 detik. Ketinggian air tertinggi tercatat 83 cm (baris 10), yang bisa menjadi indikasi adanya pengisian ulang air atau efek lain dalam wadah pengujian.

Gambar 11 dibawah menunjukkan antarmuka sebuah dashboard monitoring kelembaban tanah untuk tanaman kentang. Dashboard ini menampilkan data dari beberapa sensor yang mengukur tingkat kelembaban tanah di berbagai titik atau node. Beberapa informasi yang ditampilkan dalam dashboard ini meliputi: Kelembaban tanah pada setiap titik (Node 1: 65%, Node 2: 52%, Node 3: 52%, Node 4: 43%). Rata-rata kelembaban tanah yang dihitung dari semua node, yaitu 53.75%. Sistem ini membantu petani dalam memantau kelembaban tanah secara real-time dan dapat digunakan untuk mengontrol penyiraman secara otomatis berdasarkan data yang diperoleh dari sensor.

Antarmuka sistem monitoring ketinggian air pada Gambar 10 menampilkan kelembaban tanah pada beberapa node sensor: Node 1: 7%, Node 2: 24% dan Rata-rata kelembaban tanah dihitung sebesar 20.00%. Data ini menunjukkan bahwa kelembaban tanah cukup rendah, yang mungkin memerlukan intervensi seperti penyiraman otomatis. Pada antarmuka tersebut menampilkan monitoring ketinggian Air dalam tangki. Sensor

mendeteksi bahwa ketinggian air dalam tangki adalah 76 cm. Data ini berguna untuk mengelola ketersediaan air untuk sistem irigasi otomatis.



Gambar 11. Antarmuka monitoring kelembaban tanah

4. KESIMPULAN

Penelitian berhasil mengembangkan sistem otomatis berbasis IoT yang terdistribusi dan modular untuk manajemen budidaya kentang. Sistem ini memantau kelembaban tanah, mengukur ketinggian air, dan mengalirkan pupuk secara otomatis menggunakan teknologi MQTT dan Node-RED. Dengan pendekatan modular berbasis plugin, sistem memungkinkan penambahan atau penggantian komponen dengan mudah tanpa mengganggu operasional. Selain itu, sistem ini didukung oleh energi terbarukan dari solar panel, sehingga lebih ramah lingkungan dan efisien. Pengujian menunjukkan bahwa sistem berfungsi dengan baik, mampu memantau kelembaban tanah dengan akurat, serta mengontrol irigasi dan distribusi pupuk secara efektif, meningkatkan efisiensi dan keandalan dalam budidaya kentang. Untuk pengembangan di masa mendatang, perlu dilakukan penambahan fitur baru, seperti pengisian drum otomatis dan pemantauan volume pada tangki air serta pupuk guna meningkatkan efisiensi manajemen sumber daya. Selain itu, penggunaan baterai dengan kapasitas lebih besar direkomendasikan untuk mengurangi frekuensi penggantian daya oleh pengguna. Pengembangan lebih lanjut pada perangkat ESP32 juga diperlukan agar dapat menangani jumlah sensor dan aktuator yang lebih banyak secara optimal. Setiap perangkat sensor dan aktuator harus memiliki deployer sendiri untuk meningkatkan efisiensi sistem. Selain itu, diperlukan peningkatan dalam penggunaan protokol MQTT agar lebih optimal dalam menghubungkan perangkat IoT, serta pengembangan sistem kendali otomatis berbasis kecerdasan buatan (AI) untuk meningkatkan kemampuan adaptasi terhadap kondisi lingkungan yang dinamis. Kolaborasi dengan stakeholder di bidang pertanian dan teknologi juga menjadi faktor penting untuk memastikan sistem ini dapat diterapkan secara luas dalam meningkatkan produksi kentang serta menjaga stabilitas pangan nasional.

REFERENCES

- [1] F. Simatupang, "Automatic Plant Watering System Using Arduino Uno and L298N DC Motor (Study Case: Calathea)," *Pist. J. Tech. Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–11, 2023, doi:10.32493/pjte.v7i1.30057.
- [2] E. Supriyanto, E. Wasito, A. Hasan, D. Ernanda, and K. Balqis, "Design of a Water Sprinkler System and Monitoring of Soil Moisture in Potato Cultivation of the Kledung Horticulture Seed Center based on the Internet of Things (IoT)," *Jaict*, vol. 5, no. 2, p. 20, 2020, doi: 10.32497/jaict.v5i2.2023.
- [3] D. Ristikawati, D. Armita, and N. Barunawati, "Respon Pertumbuhan dan Hasil Kentang (*Solanum tuberosum* L.) Dataran Medium Varietas DTO 28 terhadap Dosis Pupuk NPK dan PGPR," *Skripsi, Univ. Brawijaya*, vol. 6, no. 9, pp. 2078–2084, 2017.
- [4] E. Budiraharjo, N. T. Ujjianto, R. I. Fitria, A. Sofyan, and R. Prasetyo, "Sistem Pemantauan dan Penyiraman Otomatis di Penanaman Kentang Berbasis IoT," *Eng. J. Bid. Tek.*, vol. 13, no. 2, pp. 61–68, 2022, doi: 10.24905/eng.v13i2.2064.
- [5] S. Fuady, U. Khaira, Y. R. Hais, and R. H. Sitanggang, "Penerapan Model Terdistribusi untuk Sistem Smarthome Menggunakan Multi-Sensor Berbasis Internet of Things (IoT)," *JEPKA*, vol. 4, no. 2, pp. 68–72, 2021, doi: 10.33087/jepca.v4i2.57.
- [6] S. J. Rusli, "Implementasi Konsep Smart Farming Berbasis IoT dan Manfaatnya," *J. Ilmu Tek. dan Komput.*, vol. 5, no. 1, pp. 233–237, 2021, [Online]. Available: <https://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/jitkom/article/view/7743>
- [7] H. R. Abubakar, "Pengantar Metodologi Penelitian", Yogyakarta: SUKA-Press UIN Sunan Kalijaga, 2021.
- [8] S. Mulyono, M. Qomaruddin, and M. S. Anwar, "Penggunaan Node-RED pada Sistem Monitoring dan Kontrol Green House berbasis Protokol MQTT," *Jurnal Transistor Elektro dan Informatika*, vol. 3, no. 1, pp. 31–44, 2018, doi: 10.30659/ei.3.1.31-44.
- [9] Z. B. Abilovani, W. Yahya, and F. A. Bakhtiar, "Implementasi Protokol MQTT untuk Sistem Monitoring Perangkat IoT," *J.PTIK.*, vol. 2, no. 12, pp. 7521–7527, 2018, [Online]. Available: <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/3997>
- [10] I. Zahra, T. Dewi, M. F. Ulinuha, W. A. Mustofa, and A. Kurniawan, "Smart Farming : Sistem Tanaman Hidroponik Terintegrasi IoT MQTT Panel Berbasis Android," *JKPTB.*, vol. 9, no. 1, pp. 71-78, 2021, doi:



10.21776/ub.jkptb.2021.009.01.08.

- [11] F. Dirayati, R. A. Sari, and R. F. Purnomo, "Perancangan dan Implementasi Sistem Smart Agriculture Berbasis Internet of Things untuk Meningkatkan Produktivitas Pertanian", *Jurnal Media Informatika [JUMIN]*, vol. 6, no. 2, pp. 863–872, 2025, doi: 10.55338/jumin.v6i2.4982.
- [12] P. Asnur et al., "Implementasi Pertanian Cerdas Berbasis Internet Of Things di Desa Wisata Mucila - Munjul , Jakarta Timur", *Darma Saskara: J. Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 4, no.1, pp. 1–7, 2024, doi: 10.35760/abdimasug.2024.v4i1.11497.
- [13] I. Fathurrahman, M. Saiful, and L. M. Samsu, "Penerapan Sistem Monitoring Hidroponik Berbasis Internet of Things (IoT)," *ABSYARA J. Pengabd. Pada Masy.*, vol. 2, no. 2, pp. 283–290, 2021, doi: 10.29408/ab.v2i2.4219.
- [14] S. O. F. Tarigan, H. I. Sitepu, and M. Hutagalung, "Pengukuran Kinerja Sistem Publish / Subscribe Menggunakan Protokol MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)", *Jurnal Telematika.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–6, 1858, 2014, doi: 10.61769/telematika.v9i1.85.
- [15] D. P. Caniago, A. C. Andaria, F. Simatupang, M. Mursalim, R. Iskandar, M. R. Sulthony, D. R. Nurjannah, K. Karyanik, J. F. Palandi, S. Maemunah, C. A. Sugianto, Y. Yurika, and E. Etiyasningsih, "Internet of Things (IoT): Inovasi, Implementasi, dan Masa Depan", *Yayasan Tri Edukasi Ilmiah*, 2024.
- [16] N. Sartika, A. Nur, and R. Fajri, "Perancangan Dan Simulasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Atap Pada Masjid Jami ' Al-Muhajirin Bekasi", *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol.25, no. 1, pp. 1–9, 2023, doi: 10.14710/transmisi.25.1.1-9.
- [17] D. K. Putra and A. S. Rosa, "Perancangan Alat Monitoring Sistem Kerja Solar Panel Berbasis Iot (Internet Of Things)", *Jurnal Teknologi dan Vokasi*, vol. 1, no. 1, pp. 12–20, 2023, doi: 10.21063/jtv.2023.1.1.12-20.
- [18] N. Soedjarwanto, Z. Huda, and A. Z. Kurniawan, "Perancangan Prototype Sistem Pemantauan Panel Surya Berbasis Iot", *JITET*, vol. 12, no. 3, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4549.
- [19] P. Gunoto, A. Rahmadi, and E. Susanti, "Perancangan Alat Sistem Monitoring Daya Panel Surya Berbasis Internet Of Things", *Sigma Teknika*, vol. 5, no. 2, pp. 285–294, 2022, doi: 10.33373/sigmateknika.v5i2.4555.
- [20] F. Simatupang and W. O. Nainggolan, "Design and Implementation of Rain Gauge Measurement using Ultrasonic Sensor HC-SR04 (Case Study using Ombrometer Method)," *Pist. J. Tech. Eng.*, vol. 7, no. 2, pp. 80–90, 2024, doi: 10.32493/pjite.v7i2.36619.
- [21] M. U. Harun, A. Rasyid, and A. I. Gunawan, "Sistem Pemantauan dan Kontrol Otomatis Kualitas Air Berbasis IoT Menggunakan Platform Node-Red untuk Budidaya Udang", *J. Teknologi Terapan*, vol. 7, no.1, pp. 19–26, 2021, doi: 10.31884/jtt.v7i1.317.
- [22] M. J. F. Arifianto dan L. Prasetyani, "Sistem Pemantauan dan Kontrol Energi Listrik Menggunakan Platform Node-RED, InfluxDB dan Grafana melalui Jaringan WiFi dan LoRa," *Jurnal Fokus Elektroda: Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika dan Kendali*, vol. 7, no. 1, hlm. 61–67, Feb. 2022, doi:10.33772/jfe.v7i1.23440.
- [23] M. A. Masril, M. A. S. Aritonang, M. H. K. Saputra, S. B. Mulia, F. Simatupang, H. Hasan, D. R. Nurjannah, R. Iskandar, A. C. Andaria, D. P. Caniago, L. Hernando, dan W. Yuniarto, "Mikrokontroler dan Arduino", *Yayasan Tri Edukasi Ilmiah*, 2024.
- [24] I. Setyowati, D. Novianto, and E. Purnomo, "Preliminary Design and Soil Moisture Sensor YL-69 Calibration for Implementation of Smart Irrigation," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1517, no. 1, pp. 1–7, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1517/1/012078.
- [25] A. Galih Mardika and R. Kartadie, "Mengatur Kelembaban Tanah Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah YL-69 Berbasis Arduino Pada Media Tanam Pohon Gaharu", *JOEICT (Jurnal Educ. Inf. Commun. Technol.)*, vol. 3, no. 2, pp. 130–140, 2019, doi: 10.29100/joeict.v3i2.1163.