

Implementasi Sistem Irigasi Hidroponik Berbasis *Internet of Things* di Kampung Ramah Lingkungan

Reyhan Tri Kurniawan^{1*}, Mardi Yudhi Putra²

^{1,2}Program Studi Teknik Informatika, Universitas Bina Insani, Indonesia

^{1*}reyhan3kurniawan@gmail.com, ²mardi@binainsani.ac.id

Abstrak: Irigasi merupakan salah satu faktor penting dalam budi daya tanaman hidroponik karena berpengaruh terhadap pertumbuhan dan kualitas tanaman. Di Kampung Ramah Lingkungan, proses irigasi masih dilakukan secara manual sehingga sering mengalami keterlambatan dan belum memiliki jadwal yang teratur. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem irigasi berbasis *Internet of Things* (IoT) pada tanaman hidroponik kangkung menggunakan metode *Rapid Application Development* (RAD). Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor Total Dissolved Solids (TDS) untuk memantau kandungan zat terlarut pada larutan, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur ketinggian air, modul relay sebagai pengendali dua pompa air R385, serta dashboard berbasis web untuk monitoring, pengaturan jadwal irigasi, dan pengendalian pompa secara manual. Hasil pengujian *Black Box Testing* menunjukkan bahwa seluruh fungsi perangkat lunak dan perangkat keras berjalan sesuai dengan kebutuhan fungsional yang telah dirancang, meliputi proses login, monitoring sensor, pengendalian pompa, pengaturan jadwal, dan komunikasi data antara ESP32 dengan server. Pengujian Stress Test menunjukkan bahwa ESP32, sensor, dashboard, dan komunikasi data tetap beroperasi dengan baik selama pengujian ketahanan sistem. Namun, pada pengujian API menggunakan Apache JMeter diperoleh error rate sebesar 50,00% pada endpoint Update Sensor, 61,00% pada endpoint Get Data, dan 59,00% pada endpoint Get Schedule, sehingga sistem masih memerlukan optimasi untuk menangani beban akses yang tinggi. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan mampu membantu proses irigasi tanaman hidroponik secara terjadwal, mempermudah monitoring kondisi sistem, serta mendukung pengelolaan budi daya kangkung hidroponik di Kampung Ramah Lingkungan secara lebih efisien.

Kata Kunci: ESP32; Hidroponik; *Internet of Things*; Irigasi; *Rapid Application Development*.

Abstract: Irrigation is one of the essential factors in hydroponic cultivation because it affects plant growth and crop quality. At Kampung Ramah Lingkungan, the irrigation process is still carried out manually, often resulting in delays and irregular scheduling. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based irrigation system for hydroponic kale plants using the *Rapid Application Development* (RAD) method. The system was developed using an ESP32 microcontroller as the main controller, a Total

Dissolved Solids (TDS) sensor to monitor dissolved substances in the solution, an HC-SR04 ultrasonic sensor to measure water level, a relay module to control two R385 water pumps, and a web-based dashboard for system monitoring, irrigation scheduling, and manual pump control. The results of the *Black Box* Testing indicate that all software and hardware functions operated according to the specified functional requirements, including the login process, sensor monitoring, pump control, scheduling, and data communication between the ESP32 and the server. The Stress Test results show that the ESP32, sensors, dashboard, and data communication remained operational throughout the system endurance test. However, API testing using Apache JMeter produced an error rate of 50.00% for the Update Sensor endpoint, 61.00% for the Get Data endpoint, and 59.00% for the Get Schedule endpoint, indicating that the system still requires optimization to handle high access loads. Therefore, the developed system is capable of supporting scheduled irrigation, simplifying system monitoring, and assisting in the management of hydroponic kale cultivation at Kampung Ramah Lingkungan.

Keywords: ESP32; Hydroponics; *Internet of Things*; Irrigation; *Rapid Application Development*.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pada bidang pertanian modern mendorong penerapan berbagai inovasi budi daya tanaman, salah satunya sistem hidroponik. Hidroponik merupakan cara bercocok tanam yang menggunakan air sebagai media utama, sehingga media tanah dapat digantikan dengan penggunaan air [1]. Sistem ini semakin banyak diterapkan di lingkungan perkotaan karena tidak memerlukan lahan yang luas serta mampu meningkatkan optimalisasi budi daya tanaman. Kangkung (*Ipomoea* sp.) menjadi salah satu komoditas yang sering dibudidayakan secara hidroponik karena memiliki masa panen yang relatif singkat, perawatan yang sederhana, serta merupakan sumber provitamin A [2]. Namun demikian, data terbaru menunjukkan bahwa produksi kangkung nasional pada tahun 2024 hanya mencapai 3.135 kuintal, angka terendah dalam empat tahun terakhir, sementara luas panen justru tercatat sebesar 71,76 hektare [3]. Ketimpangan antara luas panen dan hasil produksi tersebut mengindikasikan adanya persoalan dalam proses budi daya, khususnya pada pengelolaan irigasi tanaman.

Irigasi merupakan usaha penyediaan, pengaturan, dan pembuangan air untuk menunjang pertanian sebagaimana diatur dalam Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air [4]. Berdasarkan hasil observasi di Taman Kampung Ramah Lingkungan, budi daya kangkung hidroponik memanfaatkan air kolam ikan yang dialirkan ke instalasi hidroponik. Proses pengaliran air dan penggantian air secara berkala pada sistem ini masih dilakukan secara manual dan belum terjadwal dengan konsisten, sehingga menimbulkan ketidakteraturan pengairan tanaman. Ketidakteraturan tersebut berdampak pada pertumbuhan tanaman yang tidak merata, daun yang kurang berkembang optimal, serta penurunan kualitas hasil panen. Ketergantungan pada tenaga manusia untuk menyalakan dan mematikan aliran air juga berpotensi menimbulkan keterlambatan maupun kelalaian apabila tidak dilakukan secara rutin.

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang memungkinkan perangkat fisik terhubung melalui jaringan internet untuk mengirim, menerima, dan bertukar data secara otomatis serta mendukung monitoring dan pengendalian dari jarak jauh [5], [24]. Penerapan IoT pada sistem berbasis ESP32 memungkinkan data sensor dikirim melalui jaringan ke sistem monitoring, sementara perintah dari aplikasi dapat diteruskan kembali ke perangkat untuk menjalankan fungsi kendali [24], [25]. Konsep tersebut juga telah diterapkan pada sistem smart farming dan monitoring berbasis IoT untuk mendukung pemantauan kondisi perangkat secara real-time [28]. Sejumlah penelitian terdahulu telah

membahas penerapan IoT pada sistem irigasi. Firdaus dkk. mengembangkan sistem manajemen pengairan pada budi daya tanaman anggur berbasis IoT menggunakan metode Prototype yang mampu melakukan monitoring kondisi tanaman serta pengendalian irigasi melalui website [6]. Sari dan Kusumanto mengembangkan sistem kendali irigasi otomatis pada pertanian hidroponik vertikal dengan memanfaatkan sensor ultrasonik dan sensor debit air untuk meningkatkan efisiensi distribusi air [7]. Maulidani dan Solichin mengembangkan sistem irigasi cerdas budi daya aquahidroponik berbasis IoT menggunakan ESP32, sensor pH, sensor suhu air, sensor DHT, dan HC-SR04 yang mampu melakukan monitoring serta pengendalian irigasi secara otomatis [8]. Setiawan membangun purwarupa sistem pertanian padi hidroponik berbasis IoT pada lahan perkotaan menggunakan sensor kelembapan tanah, kelembapan udara, pH tanah, dan intensitas cahaya yang dapat dipantau secara real-time [9]. Caesar dkk. mengembangkan sistem irigasi tetes otomatis berbasis IoT dengan metode Extreme Programming yang memanfaatkan sensor kelembapan tanah untuk efisiensi penggunaan air [10].

Meskipun demikian, penelitian-penelitian tersebut umumnya berfokus pada penerapan irigasi otomatis berdasarkan kondisi sensor tertentu maupun pada objek tanaman yang berbeda, dan belum secara khusus menerapkan sistem irigasi hidroponik terjadwal pada budi daya tanaman kangkung dengan memanfaatkan ESP32, sensor TDS, sensor ultrasonik, serta *dashboard* berbasis web untuk pengaturan jadwal dan monitoring sistem. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem irigasi hidroponik berbasis *Internet of Things* yang mampu mengatur proses pengaliran air secara otomatis sesuai jadwal yang ditentukan, menyediakan fitur monitoring kondisi sistem secara *real-time*, serta membantu mengurangi ketergantungan terhadap proses irigasi manual. Untuk mendukung pengembangan sistem tersebut, digunakan metode *Rapid Application Development* (RAD) yang dinilai mampu mempercepat proses pengembangan serta sesuai dengan karakteristik sistem yang dibangun. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem irigasi terjadwal berbasis *Internet of Things* pada tanaman hidroponik kangkung di Kampung Ramah Lingkungan, menguji kinerja sistem dalam mengalirkan air sesuai jadwal yang telah ditentukan, serta membantu meningkatkan keteraturan dan kinerja pengelolaan irigasi tanaman hidroponik.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Taman Kampung Ramah Lingkungan, Perumahan Limus, Cileungsi, dengan tahap observasi dan wawancara dilaksanakan pada akhir April hingga awal Mei 2026.

A. Teknik Pengumpulan Data

Data penelitian dikumpulkan melalui tiga teknik. Observasi merupakan kegiatan mengamati dan mencermati suatu objek secara langsung di lapangan untuk memperoleh data dan kesimpulan [11]. Observasi dilakukan dengan mengamati langsung proses irigasi, pergantian air, dan perawatan tanaman hidroponik di lokasi penelitian. Wawancara dilakukan bersama pengelola budi daya hidroponik untuk memperoleh informasi mengenai kendala irigasi, kebutuhan sistem, serta harapan terhadap penerapan sistem berbasis IoT. Studi pustaka dilakukan dengan menelaah literatur dan teori yang relevan, termasuk jurnal ilmiah dan penelitian terdahulu, sebagai dasar teori dan acuan perancangan sistem [12].

B. Model Pengembangan Sistem

Penelitian ini menggunakan metode *Rapid Application Development* (RAD) sebagai model pengembangan sistem karena dinilai mampu meningkatkan efisiensi pengembangan dengan proses yang lebih cepat dan fleksibel dalam menangani perubahan kebutuhan, meskipun memiliki keterbatasan pada ketergantungan terhadap ketersediaan sumber daya [13]. RAD merupakan pendekatan siklus hidup yang bertujuan menciptakan pengembangan dengan cepat dan kualitas yang lebih unggul dibandingkan pendekatan tradisional [14]. Metode RAD terdiri atas empat tahap yang saling berkaitan, yaitu (1)

perencanaan kebutuhan, dilakukan melalui observasi dan wawancara untuk memahami proses irigasi yang berjalan serta menentukan kebutuhan sistem; (2) desain sistem, meliputi perancangan alur kerja, arsitektur, dan antarmuka sistem; (3) pengembangan sistem, yaitu implementasi rancangan ke dalam perangkat keras dan perangkat lunak; dan (4) implementasi, yaitu tahap pengujian dan penerapan sistem pada budi daya tanaman hidroponik [15].

C. Kebutuhan Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

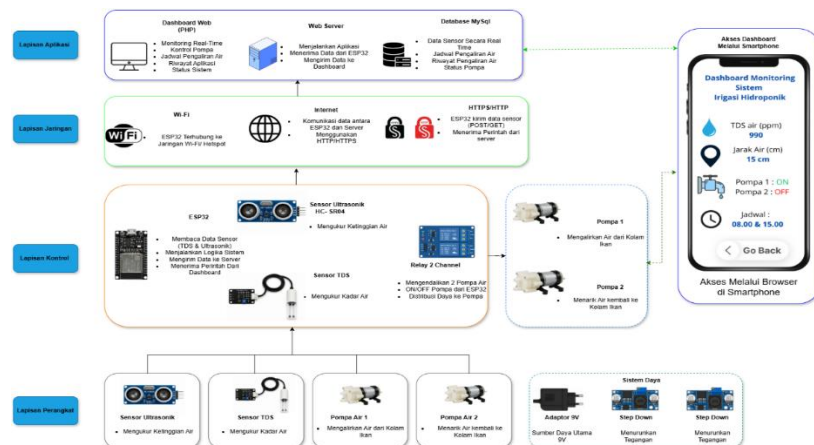
Kebutuhan perangkat keras utama dalam pengembangan sistem ditunjukkan pada Tabel 1, sedangkan perangkat lunak yang digunakan meliputi Arduino IDE untuk pemrograman ESP32, PHP sebagai bahasa pemrograman sisi *server* untuk *dashboard* monitoring [16], serta MySQL sebagai sistem manajemen basis data open source untuk menyimpan data sensor, jadwal, dan riwayat irigasi [17].

Tabel 1. Kebutuhan Perangkat Keras Utama

No	Komponen	Spesifikasi	Fungsi
1	ESP32	32-bit, Wi-Fi 2,4 GHz	Pusat kendali & komunikasi data
2	Sensor TDS	Input 3,3-5,5V, Output 0-2,3V	Membaca kadar air/nutrisi
3	Sensor Ultrasonik HC-SR04	5V	Mengukur ketinggian air
4	Modul Relay 2 Channel	5V	Mengendalikan pompa air
5	Pompa Air R385	6-12V	Mengalirkan air ke instalasi hidroponik
6	Adaptor & Step-Down	9-12V DC	Sumber daya & penstabil tegangan

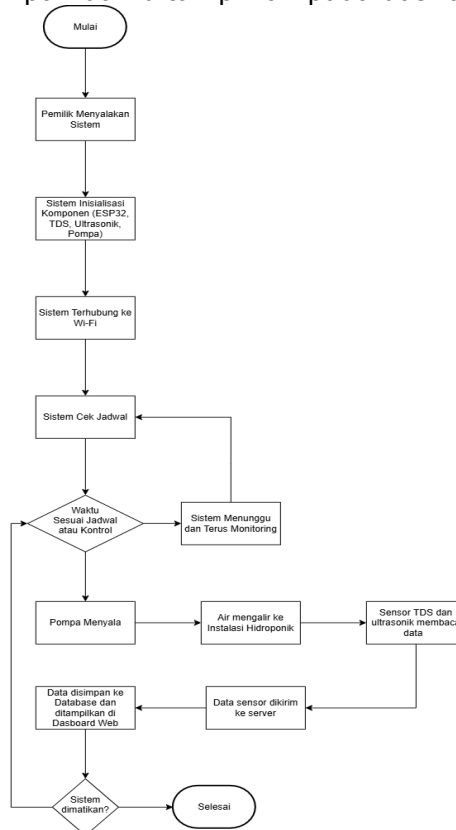
D. Diagram Sistem

Arsitektur sistem dirancang untuk menggambarkan hubungan antara perangkat keras, jaringan internet, server, basis data, dan antarmuka pengguna, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali yang membaca data sensor TDS dan sensor ultrasonik, kemudian mengirimkan data ke server melalui jaringan Wi-Fi menggunakan protokol HTTP/HTTPS. Pola komunikasi tersebut membentuk alur IoT antara perangkat, jaringan, server, dan aplikasi monitoring sehingga data sensor dapat diterima dan ditampilkan pada dashboard [24], [28]. Modul relay 2 channel berfungsi sebagai saklar elektronik untuk mengendalikan dua pompa air R385 berdasarkan jadwal otomatis maupun perintah manual dari dashboard [18]. Data yang diterima server disimpan pada basis data MySQL dan ditampilkan melalui dashboard berbasis web sehingga kondisi sistem dapat dipantau secara real-time, termasuk melalui perangkat mobile [24], [26].

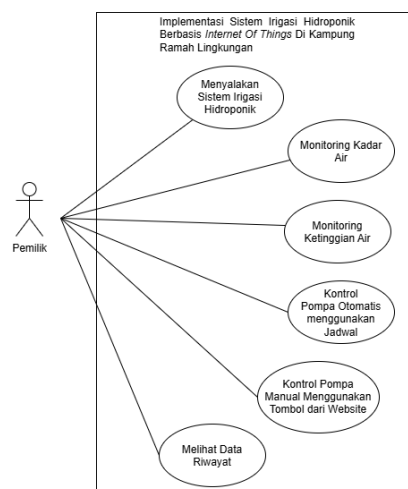


Gambar 1. Arsitektur Sistem Irigasi Hidroponik Berbasis IoT

Alur kerja sistem digambarkan pada Gambar 2, dimulai dari inisialisasi komponen ESP32, sensor, dan koneksi Wi-Fi, dilanjutkan dengan pengecekan jadwal maupun perintah kontrol dari dashboard. Apabila waktu sesuai jadwal atau terdapat perintah manual, relay akan aktif dan pompa menjalankan proses pengaliran air sesuai fungsi yang ditentukan. Pompa R385 digunakan sebagai aktuator untuk mengalirkan air pada instalasi hidroponik [19]. Setelah proses irigasi berlangsung, sensor TDS dan sensor ultrasonik membaca kondisi larutan dan ketinggian air, kemudian data hasil pembacaan beserta status pompa dikirim ke server untuk disimpan dan ditampilkan pada dashboard.

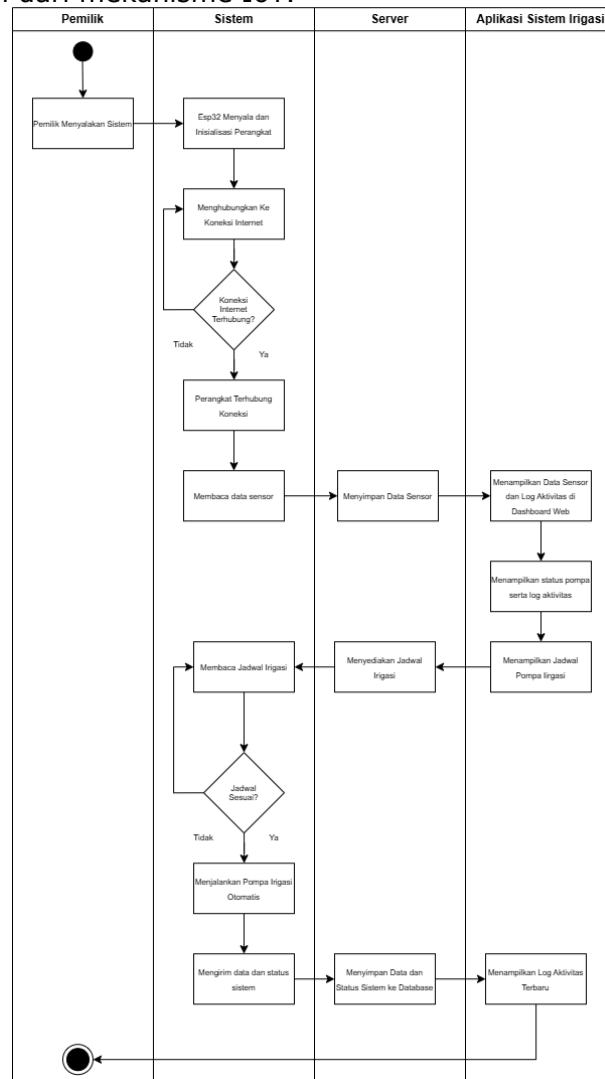


Gambar 2. Diagram Alur Sistem Irigasi Hidroponik Berbasis IoT



Gambar 3. Use Case Diagram Sistem Irigasi Berbasis IoT

Gambar 3 menunjukkan interaksi antara pemilik dan sistem irigasi hidroponik. Pemilik dapat menyalakan sistem, memonitor nilai TDS dan ketinggian air, mengendalikan pompa secara otomatis berdasarkan jadwal, mengendalikan pompa secara manual melalui dashboard web, serta melihat riwayat aktivitas. Sementara itu, proses pembacaan sensor, pengiriman dan penyimpanan data, serta pelaksanaan kendali pompa dilakukan oleh sistem sebagai bagian dari mekanisme IoT.



Gambar 4. Activity Diagram Sistem Irigasi Berbasis IoT

Gambar 4. memperlihatkan alur aktivitas yang melibatkan pemilik, sistem, server, dan aplikasi sistem irigasi. Proses dimulai ketika pemilik menyalakan perangkat, kemudian ESP32 melakukan inisialisasi dan menghubungkan sistem ke internet. Setelah koneksi berhasil, sistem membaca data sensor dan mengirimkannya ke server untuk disimpan, sedangkan aplikasi menampilkan data sensor dan status pompa pada dashboard. Sistem selanjutnya membaca jadwal irigasi yang tersedia pada server. Jika waktu sesuai dengan jadwal, pompa dijalankan dan status sistem dikirim kembali ke server untuk dicatat serta ditampilkan pada aplikasi. Jika jadwal belum sesuai, sistem kembali ke proses monitoring dan pengecekan jadwal. Diagram ini menitikberatkan pada alur irigasi otomatis

berdasarkan jadwal, sedangkan pengendalian manual direpresentasikan pada use case dan dashboard.

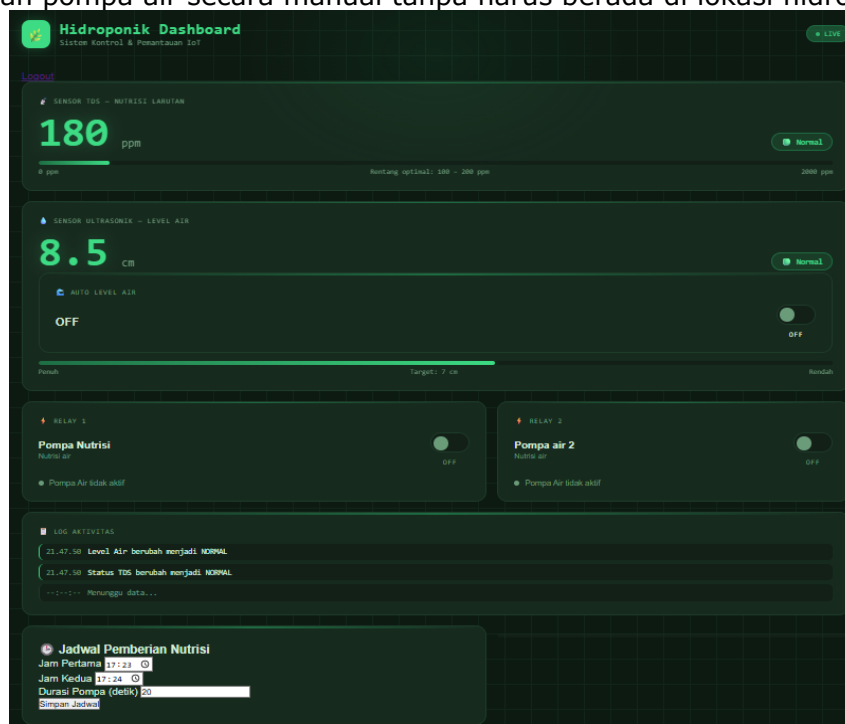
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Sistem

Sistem irigasi hidroponik berbasis IoT berhasil diimplementasikan menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan sensor TDS, sensor ultrasonik HC-SR04, dan modul relay 2 channel. ESP32 dipilih karena memiliki konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth yang sudah terintegrasi, menggunakan board mikrokontroler 32-bit dengan dukungan protokol jaringan Wi-Fi 802.11 b/g/n pada frekuensi 2,4 GHz serta teknologi Bluetooth Low Energy (BLE), sehingga mendukung komunikasi perangkat tanpa modul jaringan tambahan [20], [21]. Pemanfaatan ESP32 dalam sistem IoT memungkinkan data sensor diproses pada perangkat kemudian dikirim melalui jaringan ke server untuk ditampilkan pada sistem monitoring [24], [28]. Sensor TDS yang digunakan merupakan jenis Gravity TDS Sensor DFRobot dengan tegangan masukan 3,3-5,5V, tegangan keluaran 0-2,3V, arus kerja 3-6 mA, dan akurasi $\pm 10\%$ F.S pada suhu 25°C, yang berfungsi mengukur jumlah total zat padat terlarut dalam air termasuk nutrisi yang dibutuhkan tanaman [22], [23]. Data pembacaan sensor diproses oleh ESP32 untuk mengaktifkan pompa air R385 melalui modul relay yang bekerja sebagai saklar elektronik. Mekanisme tersebut memungkinkan perangkat lapangan menerima logika kendali dari sistem dan menjalankan aktuatur sesuai jadwal maupun perintah pengguna.

B. Antarmuka Pengguna

Antarmuka pengguna dirancang dalam bentuk dashboard berbasis web menggunakan PHP dan basis data MySQL, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Dashboard menampilkan nilai sensor TDS, ketinggian air hasil pembacaan sensor ultrasonik, status pompa 1 dan pompa 2, log aktivitas sistem, serta pengaturan jadwal dan durasi irigasi. Melalui dashboard ini, pengguna dapat memantau kondisi sistem secara real-time serta mengendalikan pompa air secara manual tanpa harus berada di lokasi hidroponik.



Gambar 5. Tampilan Dashboard Monitoring dan Kontrol Sistem

C. Hasil Pengujian Black Box

Pengujian *Black Box Testing* dilakukan untuk mengetahui kesesuaian fungsi sistem berdasarkan input dan output yang dihasilkan, mencakup pengujian pada sistem berbasis web maupun proses pengiriman data dari ESP32 ke sistem monitoring. Ringkasan hasil pengujian pada beberapa skenario utama ditunjukkan pada Tabel 2. Seluruh skenario pengujian, meliputi proses login, monitoring nilai TDS dan jarak air, pengendalian pompa, pengaturan jadwal irigasi, serta penyimpanan data, dinyatakan berhasil dan berjalan sesuai dengan kebutuhan fungsional yang dirancang.

Tabel 2. Ringkasan Hasil Pengujian Black Box

No	Skenario Pengujian	Output yang Diharapkan	Hasil
1	Login pengguna	Berhasil masuk ke dashboard	Berhasil
2	Monitoring nilai TDS	Dashboard menampilkan nilai TDS	Berhasil
3	Monitoring jarak air (ultrasonik)	Dashboard menampilkan nilai jarak air	Berhasil
4	Kontrol pompa nutrisi/air	Pompa menyala/mati sesuai perintah	Berhasil
5	Mengatur & menyimpan jadwal irigasi	Jadwal dan durasi tersimpan	Berhasil
6	Menampilkan log aktivitas	Riwayat aktivitas tampil pada dashboard	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian *Black Box*, seluruh fungsi sistem dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah dirancang. Pengujian meliputi proses login, monitoring nilai TDS dan ketinggian air, pengendalian pompa secara manual maupun otomatis, pengaturan jadwal irigasi, penyimpanan jadwal, serta pengiriman data antara ESP32 dan server. Pada pengujian perangkat keras, ESP32 berhasil terhubung dengan jaringan, sensor TDS dapat membaca nilai PPM, sensor ultrasonik dapat membaca jarak air, relay dapat mengendalikan pompa, dan pompa R385 dapat mengalirkan air pada instalasi hidroponik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi perangkat keras dan perangkat lunak telah berjalan sesuai fungsi sistem yang dirancang.

Pengujian fungsional juga menunjukkan bahwa proses pengaturan jadwal dan durasi pompa dapat disimpan dan digunakan sebagai dasar pelaksanaan irigasi otomatis. Sistem mengambil jadwal dari server, membandingkan waktu berjalan dengan jadwal yang tersimpan, kemudian mengaktifkan pompa sesuai durasi yang telah ditentukan. Dengan demikian, sistem tidak hanya mendukung pengendalian pompa secara manual, tetapi juga mampu menjalankan proses irigasi berdasarkan jadwal yang telah ditentukan.

D. Hasil Pengujian Stress Test

Pengujian *Stress Test* dilakukan untuk mengetahui ketahanan dan kestabilan sistem ketika menerima beban akses yang tinggi. Pengujian ketahanan sistem menunjukkan bahwa ESP32, sensor, *dashboard*, serta komunikasi data antar perangkat tetap beroperasi dengan baik selama pengujian berlangsung pada rentang 2-24 jam tanpa restart, sebagaimana dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Stress Test Ketahanan Sistem

No	Parameter Pengujian	Skenario	Status
1	Kestabilan koneksi ESP32	Dijalankan selama 2-24 jam	Berhasil
2	Pengiriman data ke server	Data sensor dikirim berkala	Berhasil
3	Monitoring halaman dashboard	Dibiarkan terbuka	Berhasil
4	Kestabilan pembacaan sensor	Pembacaan berulang kali	Berhasil

5	Kontrol pompa manual & otomatis	Pompa diuji manual dan otomatis	Berhasil
---	---------------------------------	---------------------------------	----------

E. Hasil Pengujian API

Selain pengujian ketahanan, dilakukan pula pengujian beban menggunakan Apache JMeter dengan 100 sampel permintaan (request) pada masing-masing endpoint, yaitu *Update_Sensor*, *Get_Data*, dan *Get_Schedule*. Hasil pengujian pada setiap endpoint diperoleh langsung dari fitur *Summary Report* pada Apache JMeter, yang secara otomatis mencatat waktu respons (*response time*), tingkat kesalahan (*error rate*), dan *throughput* berdasarkan 100 sampel permintaan yang dijalankan pada setiap endpoint.

Tabel 4. Hasil Pengujian API

Endpoint	Request	Berhasil	Gagal	Error Rate	Average Response Time	Throughput
Update Sensor	100	50	50	50.00%	18.742ms	3,0 request/s
Get Data	100	39	61	61.00%	1.367ms	2,9 request/s
Get Schedule	100	41	59	59.00%	1.111ms	3,0 request/s

Berdasarkan hasil pengujian, endpoint *Update Sensor* memperoleh 50 request berhasil dan 50 request gagal dengan error rate sebesar 50,00%. Endpoint ini memiliki average response time sebesar 18.742 ms dengan throughput 3,0 request/s. Tingginya waktu respons pada endpoint *Update Sensor* menunjukkan bahwa proses pembaruan data sensor membutuhkan waktu pemrosesan yang lebih besar dibandingkan endpoint lainnya.

Endpoint *Get Data* menghasilkan 39 request berhasil dan 61 request gagal dengan error rate sebesar 61,00%. Average response time yang diperoleh sebesar 1.367 ms dengan throughput 2,9 request/s. Sementara itu, endpoint *Get Schedule* menghasilkan 41 request berhasil dan 59 request gagal dengan error rate sebesar 59,00%, average response time sebesar 1.111 ms, dan throughput sebesar 3,0 request/s.

Tingginya error rate pada ketiga endpoint menunjukkan adanya penurunan kemampuan sistem dalam menangani request secara bersamaan pada beban akses tinggi. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa komunikasi antara aplikasi, server, dan basis data masih menjadi bagian yang perlu dioptimalkan. Pada kondisi normal, fungsi monitoring dan pengendalian tetap dapat dijalankan, tetapi peningkatan jumlah request secara bersamaan dapat menyebabkan sebagian permintaan tidak berhasil diproses. Oleh karena itu, hasil Stress Test menunjukkan bahwa sistem telah berfungsi pada skenario penggunaan normal, tetapi masih memerlukan peningkatan kapasitas dan optimasi pada sisi API, server, serta basis data untuk meningkatkan keandalan ketika menerima beban akses tinggi.

F. Analisis dan Evaluasi Sistem

Berdasarkan hasil pengujian Black Box, sistem irigasi hidroponik berbasis IoT mampu menjalankan fungsi utama meliputi monitoring nilai Total Dissolved Solids (TDS), pembacaan ketinggian air, pengiriman data, serta pengendalian pompa. Sensor TDS berfungsi untuk mengukur jumlah zat terlarut dalam larutan hidroponik yang berkaitan dengan kandungan nutrisi. Nilai TDS ditampilkan pada dashboard sebagai informasi bagi pengelola dalam memantau kondisi larutan dan menentukan kebutuhan penyesuaian nutrisi. Dengan demikian, sensor TDS berfungsi sebagai parameter monitoring dan bukan sebagai pemicu langsung pompa.

Mekanisme pengendalian irigasi dilakukan berdasarkan jadwal dan durasi pompa yang telah ditentukan melalui dashboard. ESP32 membaca jadwal dari server dan apabila waktu sesuai, relay diaktifkan untuk menyalakan pompa R385 sehingga air mengalir menuju instalasi hidroponik selama durasi yang ditentukan. Setelah durasi selesai, relay memutuskan arus dan pompa berhenti. Pengguna juga dapat mengendalikan pompa secara manual

melalui dashboard. Mekanisme ini membuat proses pengairan lebih teratur dibandingkan pengoperasian secara manual.

Evaluasi terhadap tanaman menunjukkan bahwa tanaman kangkung dapat tumbuh pada instalasi hidroponik hingga usia 20 hari setelah penerapan sistem. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem dapat mendukung proses pengairan selama budidaya tanaman. Namun, penelitian ini belum melakukan pengukuran kuantitatif terhadap pertumbuhan dan hasil panen, sehingga peningkatan produktivitas tanaman akibat penerapan sistem belum dapat dinyatakan secara langsung. Evaluasi yang diperoleh lebih menunjukkan keteraturan proses irigasi dan kemudahan pemantauan kondisi larutan secara real-time.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, sistem irigasi hidroponik berbasis Internet of Things di Kampung Ramah Lingkungan berhasil dikembangkan menggunakan ESP32, sensor TDS, sensor ultrasonik, relay, pompa R385, server, basis data, dan dashboard berbasis web. Sistem mampu melakukan monitoring kondisi air, pengendalian pompa secara manual maupun otomatis, serta pengaturan jadwal dan durasi irigasi.

Sistem yang dikembangkan mampu mengatur proses irigasi secara otomatis berdasarkan jadwal dan durasi yang telah ditentukan maupun secara manual melalui dashboard. Sensor TDS digunakan untuk memantau jumlah zat terlarut dalam larutan hidroponik sebagai informasi kondisi nutrisi, sedangkan ESP32 mengendalikan relay dan pompa R385 untuk menjalankan proses irigasi sesuai jadwal. Hasil pengujian ketahanan selama 2–24 jam menunjukkan bahwa ESP32, sensor, dashboard, pengiriman data, dan pengendalian pompa dapat beroperasi tanpa restart. Hasil pengujian Black Box juga menunjukkan bahwa seluruh fungsi utama sistem dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan fungsional yang dirancang.

Hasil implementasi pada tanaman menunjukkan bahwa tanaman kangkung dapat tumbuh pada instalasi hidroponik hingga usia 20 hari setelah penerapan sistem. Penerapan sistem mendukung keteraturan proses irigasi dan pemantauan kondisi larutan secara real-time. Namun, penelitian ini belum melakukan pengukuran kuantitatif terhadap pertumbuhan dan hasil panen, sehingga peningkatan produktivitas tanaman belum dapat disimpulkan secara langsung.

Pengujian beban API menggunakan Apache JMeter menunjukkan adanya keterbatasan pada beban akses tinggi, dengan error rate sebesar 50,00% pada Update Sensor, 61,00% pada Get Data, dan 59,00% pada Get Schedule. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem telah mampu mendukung proses monitoring dan irigasi hidroponik pada kondisi operasional normal, tetapi masih memerlukan optimasi pada sisi API, server, dan basis data untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam menangani akses secara bersamaan. Pengembangan selanjutnya perlu mempertimbangkan peningkatan reliabilitas sensor, keamanan komunikasi IoT, efisiensi konsumsi energi, perlindungan perangkat terhadap lingkungan luar, serta penerapan mekanisme fail-safe agar proses irigasi tetap dapat berjalan ketika koneksi internet mengalami gangguan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pengelola dan warga Taman Kampung Ramah Lingkungan atas izin dan bantuan selama proses pengumpulan data, serta kepada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Informatika dan Desain, Universitas Bina Insani atas dukungan yang diberikan selama proses penelitian ini.

6. REFERENCES

- [1] S. Fuada, E. Setyowati, D. W. Riani, and G. I. Aulia, "Narative Review Pemanfaatan Internet-of-Things untuk Aplikasi Seed Monitoring and Management System pada Media Tanaman," vol. 9, pp. 40-45, 2023.
- [2] A. A. Didipu, R. Indriani, and Y. Bakari, "Agribisnis Tanaman Kangkung Darat di Desa Bulotalangi Timur," 2023.
- [3] Mae, "Bikin Kaget! Produksi Kangkung RI Anjlok Terus, Terendah 4 Tahun," CNBC Indonesia, 2025.
- [4] R. Jalaludin and D. Laksmiati, "Perancangan Sistem Kendali Irigasi Otomatis dan Pengusir Hama Burung," vol. 6, pp. 122-134, 2023.
- [5] M. Shandy, E. Kurniawan, and P. Pangaribuan, "Monitoring Sistem Hidroponik Berbasis IoT," vol. 3, pp. 42-47, 2025.
- [6] S. Firdaus, T. Rismawan, and U. Ristian, "Sistem Manajemen Pengairan pada Budidaya Tanaman Anggur Berbasis *Internet of Things*," vol. 11, pp. 907-916, 2023.
- [7] D. P. Sari and R. D. Kusumanto, "Sistem Kendali Irigasi Otomatis pada Pertanian Hidroponik Vertikal dengan Metode *Internet of Things* (IoT)," vol. 4, pp. 60-66, 2024.
- [8] A. Maulidani and U. Solichin, "Pengembangan Irigasi Cerdas Budidaya Aquahidroponik Menggunakan System IoT di Taman Cangkruan25," vol. 2, 2026.
- [9] M. A. Setiawan, "Sistem Pertanian Hidroponik Padi Cerdas Berbasis IoT pada Lahan Urban/Perkotaan Guna Menambah Ketahanan Pangan Masyarakat," vol. 4, pp. 118-129, 2024.
- [10] S. Caesar, W. Ngangi, A. L. Kalua, and Jr. Danaly, "Sistem Irigasi Drip Otomatis Menggunakan Metode *Extreme Programming* Berbasis *Internet of Things*," pp. 174-191, 2026.
- [11] K. Bani, M. Imamastri, P. Tang, and N. Fanpada, "Observasi Dampak Pelebaran Jalan terhadap Kondisi Alam di Sekitar Bukit Tirtufui di Desa Pailelang, Kecamatan Alor Barat Daya, Kabupaten Alor," vol. 1, 2023.
- [12] S. Lubis, "Inovasi Pembelajaran Berbasis Digital untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa Sekolah Dasar," vol. 2, pp. 1121-1126, 2022.
- [13] Mardo R. Simulingga and Kristofel Santa Q. C. K., "Aplikasi Monitoring Kelayakan Air pada Saluran Irigasi Sawah Berbasis IoT Menggunakan Metode *Rapid Application Development*," pp. 47-63, 2025.
- [14] Rifi Harimisa and Quido C. Kainde F. I. S., "Aplikasi Bursa Kerja Khusus pada SMK Negeri 1 Tondano Berbasis Website Menggunakan Metode *Rapid Application Development*," pp. 103-112, 2024.
- [15] M. Supianti, M. D. Irawan, and A. P. Utama, "Implementasi RAD (*Rapid Application Development*) dan Uji *Black Box* pada Administrasi E-Arsip," 2022.
- [16] A. Noviantoro, A. B. Silviana, R. R. Fitriani, and H. P. Permatasari, "Rancangan dan Implementasi Aplikasi Sewa Lapangan Badminton Wilayah Depok Berbasis Web," J. Tek. dan Sci., vol. 1, pp. 88-103, 2022.
- [17] U. K. Siregar, T. A. Sitakar, S. Haramain, Z. Nur, and S. Lubis, "Pengembangan Database Management System Menggunakan MySQL," vol. 1, pp. 8-12, 2024.
- [18] R. Irawan, "Analisis Sistem Kerja Interlock pada Relay dengan Menggunakan Tegangan Direct Current (DC) sebagai Pengaman Rumah Tinggal," vol. 16, pp. 117-120, 2023.
- [19] O. Y. Barokah, "Rancang Bangun Sistem Penakaran Debit Bahan Bakar Minyak Premium, Peralite dan Pertamina," 2022.
- [20] I. V. Sari, D. R. Darmayanti, C. Widasari, and W. Indani, "Tanaman Tin Menggunakan Mikrokontroler," vol. 12, 2024.
- [21] H. Darmanto and H. Asrul, "Monitoring Ketinggian Air Tandon Berbasis IoT dengan ESP32 melalui Website," vol. 4, 2025.
- [22] A. Birera, "Sistem Monitoring Kontrol Nutrisi Hidroponik Otomatis Berbasis *Internet of Things* Menggunakan Mikrokontroler ESP-32," vol. 5, pp. 341-350, 2026.
- [23] F. Chuzaini, D. Wedi, S. Mata, A. Grogolan, D. Ngunut, and S. Tirta, "IoT Monitoring Kualitas Air dengan Menggunakan Sensor Suhu, pH, dan *Total Dissolved Solids* (TDS)," vol. 11, pp. 46-56, 2022.
- [24] Y. H. Fitriani and M. Y. Putra, "IoT Based Goldfish Aquarium Water Quality Monitoring System Using SDLC Method," Journal of Artificial Intelligence and Engineering Applications, vol. 4, no. 3, 2025.

- [25] F. Fathurrohman, T. Prasetya, I. Iin, and M. Mulyawan, "Sistem Monitoring Penyiraman Otomatis Berbasis IoT Menggunakan Soil Moisture pada Tanaman Melon," JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika), vol. 8, no. 1, pp. 568-573, Feb. 2024, doi: 10.36040/jati.v8i1.8423.
- [26] E. Kurnia, M. Pandia, B. S. B. Sembiring, and D. Margaretta, "Pemanfaatan Internet of Things pada Smarthome dengan Model Simulasi Prototype," Jurnal Ilmu Komputer dan Sistem Informasi (JIKOMSI), vol. 7, no. 1, pp. 112-115, Feb. 2024, doi: 10.55338/jikoms.v7i1.2728.
- [27] A. R. Duta, "Rancang Bangun Sistem Pemantauan dan Pengendalian Kualitas Air pada Akuarium Ikan Hias Mas Koki Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berbasis IoT (Internet of Things)," Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, vol. 13, no. 1, Jan. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.5667.
- [28] A. H. Yuwono, I. S. Faradisa, and R. C. M. Putra, "Smart Farming dengan Pembangkit Hybrid Berbasis IoT sebagai Kontrol dan Monitoring di Area Pertanian," JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika), vol. 8, no. 1, pp. 16-23, Feb. 2024, doi: 10.36040/jati.v8i1.8960.
- [29] D. R. Tisna, T. Maharani, and K. T. Nugroho, "Pemanfaatan Chatbot Telegram untuk Monitoring dan Kontrol Kualitas Air Menggunakan ESP32," JIPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika), vol. 9, no. 3, pp. 1292-1306, Aug. 2024, doi: 10.29100/jipi.v9i3.5329.