Evaluasi Kinerja Sistem Monitoring dan Kontrol Media Tanam Bayam Hidroponik DWC Berbasis IoT Menggunakan ESP32

Mohamad Surya Onki[1], Amadea Permana Sanusi[2]
Sistem Informasi, Universitas Merdeka Malang
e-mail: onkysurya.28@gmail.com[1], amadea@unmer.ac.id[2]

Kata Kunci:

Internet of Things
Esp32
Firebase
Monitoring
Hidroponik

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring dan kontrol media tanam bayam hidroponik berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem dikembangkan untuk membantu pemantauan kondisi media tanam yang meliputi tingkat keasaman (pH), *Total Dissolved Solids* (TDS), dan ketinggian air, serta mengendalikan pompa air dan pompa nutrisi berdasarkan kondisi yang terdeteksi. Penelitian menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan mengadaptasi *model Borg & Gall* menjadi enam tahap, yaitu pengumpulan informasi dan identifikasi kebutuhan, perencanaan, pengembangan produk awal, pengujian awal, revisi produk, serta pengujian dan evaluasi akhir. Sistem menggunakan ESP32 sebagai pusat pengolahan data, Firebase sebagai media penyimpanan, dashboard berbasis web sebagai media monitoring, dan Telegram sebagai media penyampaian informasi. Pembacaan dan pengiriman data dilakukan secara berkala dengan interval satu jam. Hasil pengembangan menghasilkan prototipe sistem yang mengintegrasikan sensor pH, TDS, dan ketinggian air dengan aktuator pompa serta layanan IoT. Sistem yang dikembangkan dapat digunakan sebagai sarana monitoring kondisi media tanam dan pengendalian sistem hidroponik secara terintegrasi.

Keyword:

Iternet of Things
ESP32
Firebase
Monitoring
hydroponic

ABSTRACT

This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based monitoring and control system for hydroponic spinach growing media using an ESP32 microcontroller. The system was developed to assist in monitoring growing media conditions, including acidity level (pH), Total Dissolved Solids (TDS), and water level, as well as controlling water and nutrient pumps based on detected conditions. This study employed the Research and Development (R&D) method by adapting the Borg & Gall development model into six stages: information gathering and needs identification, planning, preliminary product development, preliminary testing, product revision, and final testing and evaluation. The system uses ESP32 as the main data processing unit, Firebase for data storage, a web-based dashboard for monitoring, and Telegram for delivering information to users. Sensor readings and data transmission are performed periodically at one-hour intervals. The development results in a prototype system that integrates pH, TDS, and water level sensors with pump actuators and IoT services. The developed system can be used as an integrated monitoring and control tool for observing growing media conditions and supporting hydroponic system management.

Copyright © SENASIF 2026
ISSN: 2598-0076

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah mendorong penerapan teknologi pada sektor pertanian untuk meningkatkan efisiensi proses budidaya. Salah satu pendekatan yang berkembang adalah *smart farming*, yaitu penerapan sensor, perangkat komputasi, dan teknologi komunikasi untuk membantu proses pemantauan dan pengendalian kondisi pertanian. Pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) memungkinkan perangkat fisik memperoleh data dari lingkungan, memprosesnya, serta mengirimkan informasi melalui jaringan sehingga proses pemantauan tidak sepenuhnya bergantung pada pengamatan manual[1],[2]. Penerapan konsep tersebut pada sektor hidroponik juga telah dilakukan pada berbagai penelitian dan kegiatan pengembangan sistem pertanian berbasis IoT [3], [4].

Hidroponik merupakan metode budidaya tanaman yang tidak menggunakan tanah sebagai media utama, tetapi memanfaatkan larutan air yang mengandung unsur hara. Karakteristik tersebut menyebabkan pengelolaan kondisi larutan menjadi bagian penting dalam keberhasilan budidaya karena akar tanaman memperoleh unsur hara secara langsung dari larutan nutrisi. Ketidaksesuaian kadar nutrisi dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman, sehingga kondisi larutan perlu dipantau secara berkala [1]. Pada sistem hidroponik, teknologi IoT dapat dimanfaatkan untuk memperoleh informasi kondisi media tanam melalui sensor dan meneruskannya kepada pengguna sehingga proses pemantauan dapat dilakukan secara lebih terstruktur.

Salah satu tanaman yang dapat dibudidayakan dengan metode hidroponik adalah bayam. Dalam sistem hidroponik, parameter larutan yang perlu diperhatikan antara lain tingkat keasaman (*pH*), konsentrasi zat terlarut atau *Total Dissolved Solids* (TDS), dan ketinggian air. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan penerapan sistem monitoring hidroponik menggunakan mikrokontroler dan sensor untuk memperoleh kondisi media tanam secara jarak jauh [1], [5]. Penelitian mengenai prototipe monitoring dan kontrol pH serta nutrisi hidroponik juga menunjukkan bahwa sensor dan aktuator dapat diintegrasikan dalam suatu sistem berbasis IoT untuk membantu pengelolaan kondisi tanaman [6].

Implementasi IoT pada sistem hidroponik membutuhkan perangkat yang mampu membaca sensor, mengolah data, mengendalikan aktuator, serta berkomunikasi melalui jaringan. ESP32 merupakan salah satu mikrokontroler yang sesuai untuk kebutuhan tersebut karena memiliki konektivitas Wi-Fi terintegrasi sehingga dapat digunakan sebagai pusat pengolahan data dan komunikasi sistem. Penelitian mengenai sistem hidroponik berbasis ESP32 menunjukkan bahwa mikrokontroler tersebut dapat digunakan untuk mengintegrasikan sensor dan aktuator dalam proses monitoring maupun pengendalian hidroponik [5]. Integrasi perangkat keras, perangkat lunak, komunikasi data, dan antarmuka pengguna juga menjadi bagian penting dalam pembangunan sistem IoT [7], [8].

Copyright © SENASIF 2026
ISSN: 2598-0076

Meskipun penerapan IoT pada hidroponik telah banyak dilakukan, sebagian sistem masih berorientasi pada monitoring secara terus-menerus atau dengan interval pembacaan yang relatif tinggi. Pola tersebut dapat menghasilkan data dalam jumlah besar dan meningkatkan aktivitas komunikasi antara perangkat dengan server. Penelitian ini mengambil pendekatan yang berbeda dengan menerapkan monitoring berkala setiap satu jam. Interval tersebut ditetapkan sesuai karakteristik sistem yang dikembangkan dan digunakan sebagai salah satu parameter evaluasi untuk mengetahui konsistensi pelaksanaan monitoring. Dengan demikian, penelitian tidak hanya menguji apakah data berhasil diperoleh, tetapi juga apakah proses pembacaan dan pengiriman data dapat berlangsung sesuai interval yang telah ditentukan. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan dari ESP32 menuju *Firebase Realtime Database* menggunakan komunikasi berbasis HTTP. Penggunaan protokol komunikasi pada sistem IoT perlu mempertimbangkan karakteristik perangkat, kebutuhan komunikasi, dan kondisi jaringan.[9]

Selain proses pembacaan sensor, sistem membutuhkan mekanisme pengendalian agar kondisi media tanam dapat ditindaklanjuti ketika berada di luar batas yang telah ditentukan. Sistem yang dikembangkan menggunakan dua aktuator, yaitu pompa air dan pompa nutrisi. Pompa air digunakan ketika ketinggian air berada di bawah batas minimum, sedangkan pompa nutrisi digunakan ketika nilai TDS berada di bawah batas yang ditetapkan. Mekanisme tersebut menjadikan sistem tidak hanya bersifat monitoring, tetapi juga memiliki fungsi kontrol otomatis.

Pada sisi komunikasi data, Firebase Realtime Database digunakan sebagai media penyimpanan hasil monitoring. Firebase dapat mendukung penyimpanan data dan akses data melalui jaringan sehingga sesuai untuk sistem monitoring yang membutuhkan akses jarak jauh. Pengembangan sistem monitoring dengan Firebase juga dapat dikombinasikan dengan antarmuka web untuk menyajikan informasi sensor kepada pengguna. Visualisasi parameter hidroponik melalui dashboard berbasis web menggunakan Bootstrap dan Chart.js telah diterapkan pada penelitian sebelumnya [10]. Penelitian mengenai implementasi IoT pada sistem lain juga menunjukkan bahwa integrasi perangkat, komunikasi data, dan antarmuka pengguna dapat digunakan untuk membangun sistem monitoring yang dapat diakses secara lebih fleksibel [8].

Selain dashboard, sistem penelitian ini menggunakan Telegram sebagai media notifikasi. Penggunaan bot Telegram memungkinkan sistem menyampaikan informasi kepada pengguna ketika kondisi tertentu terpenuhi tanpa pengguna harus selalu membuka dashboard. Integrasi Telegram Bot pada sistem monitoring berbasis IoT telah digunakan pada penelitian sebelumnya, termasuk pada sistem monitoring tanaman [11]. Dengan demikian, kombinasi dashboard dan notifikasi Telegram diharapkan dapat memberikan dua bentuk akses informasi, yaitu pemantauan melalui antarmuka web dan pemberitahuan otomatis melalui pesan.

Berdasarkan penelitian terdahulu, terdapat beberapa sistem yang telah menerapkan IoT untuk monitoring tanaman dan hidroponik. Namun, penelitian ini menggabungkan beberapa fungsi dalam satu prototipe, yaitu pembacaan pH, TDS, dan ketinggian air; pengendalian pompa air dan

Copyright © SENASIF 2026

ISSN: 2598-0076

pompa nutrisi; penyimpanan data pada Firebase; penyajian data melalui dashboard; notifikasi melalui Telegram; serta monitoring berkala dengan interval satu jam. Penggunaan sensor dan aktuator secara terintegrasi juga memiliki kesamaan dengan sistem IoT untuk pemantauan level yang telah diterapkan pada bidang lain. Penggunaan ESP32 pada sistem monitoring berbasis IoT juga telah diterapkan untuk pemantauan level secara otomatis [12]. Sementara itu, integrasi sensor, mikrokontroler, dan komunikasi IoT dapat digunakan untuk menghasilkan sistem pemantauan otomatis dan pemberian informasi kepada pengguna.

Berdasarkan permasalahan dan celah tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring dan kontrol media tanam bayam hidroponik berbasis IoT menggunakan ESP32. Sistem dirancang untuk memantau pH, TDS, dan ketinggian air secara berkala setiap satu jam, mengendalikan pompa berdasarkan kondisi sensor, menyimpan data hasil monitoring pada Firebase Realtime Database, menampilkan informasi melalui dashboard berbasis web, serta mengirimkan notifikasi melalui Telegram. Kinerja sistem kemudian dievaluasi menggunakan pengujian *Black Box*, *Success Rate*, *Response Time*, *System Reliability*, dan *Monitoring Interval Accuracy*.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan tujuan menghasilkan prototipe sistem monitoring dan kontrol media tanam bayam hidroponik berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32. Metode R&D dipilih karena penelitian berorientasi pada pengembangan suatu produk melalui tahapan perancangan, pengembangan, pengujian, revisi, dan evaluasi [13]. Model pengembangan yang digunakan merupakan adaptasi dari model Borg & Gall menjadi enam tahap, yaitu pengumpulan informasi dan identifikasi kebutuhan, perencanaan, pengembangan produk awal, pengujian awal produk, revisi produk, serta pengujian dan evaluasi akhir. Penyederhanaan tahapan dilakukan agar sesuai dengan ruang lingkup pengembangan prototipe sistem yang diteliti [14].

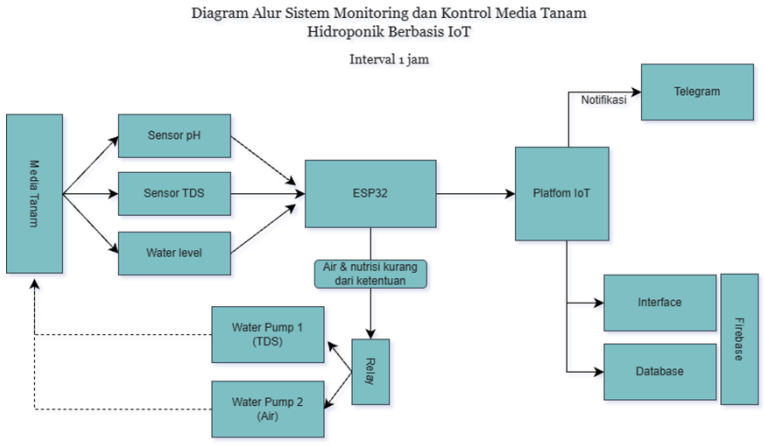
Produk yang dikembangkan berupa sistem monitoring dan kontrol media tanam bayam hidroponik dengan metode *Deep Water Culture* (DWC). Sistem menggunakan ESP32 sebagai pusat pengolahan data, sensor pH untuk mengukur tingkat keasaman larutan, sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) untuk mengukur konsentrasi zat terlarut, dan sensor *water level* untuk mengetahui ketinggian air. Pengendalian dilakukan menggunakan relay yang terhubung dengan pompa air dan pompa nutrisi. Data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke Firebase Realtime Database sebagai media penyimpanan. Dashboard berbasis web digunakan untuk menampilkan nilai pH, TDS, ketinggian air, status pompa, waktu pembaruan, dan histori monitoring, sedangkan Telegram Bot digunakan sebagai media penyampaian notifikasi kepada pengguna. Integrasi perangkat, komunikasi data, dan antarmuka tersebut merupakan bagian dari penerapan sistem IoT pada proses monitoring dan pengendalian [6], [7].

Copyright © SENASIF 2026
ISSN: 2598-0076

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi, pengujian sistem, dan dokumentasi. Observasi dilakukan dengan mengamati kondisi media tanam, hasil pembacaan sensor, respons aktuator, proses monitoring, pengiriman data, dan penyampaian informasi kepada pengguna. Pengujian dilakukan berdasarkan skenario yang telah ditentukan untuk memperoleh data pembacaan sensor, keberhasilan fungsi kontrol, pengiriman data ke Firebase, waktu respons, keandalan sistem, dan kesesuaian interval monitoring. Dokumentasi digunakan untuk mengumpulkan bukti berupa foto prototipe, hasil kalibrasi sensor, tabel pengujian, tampilan dashboard, data Firebase, serta notifikasi Telegram.

Sebelum pengujian sistem dilakukan, sensor dikalibrasi untuk memperoleh nilai pembacaan yang sesuai dengan kondisi referensi. Sensor *water level* dikalibrasi menggunakan lima titik ketinggian air, sedangkan sensor TDS menggunakan tiga larutan referensi sebesar 497 ppm, 806 ppm, dan 1009 ppm. Sensor pH dikalibrasi menggunakan larutan buffer pH 4,01, 6,86, dan 9,18. Hasil kalibrasi digunakan sebagai dasar pengolahan data pada ESP32. Sensor TDS dan *water level* menggunakan pendekatan interpolasi *piecewise linear* berdasarkan titik kalibrasi yang diperoleh, sedangkan pembacaan pH dikonversikan menggunakan persamaan kalibrasi yang telah ditentukan.

Monitoring sistem dilakukan secara berkala dengan interval satu jam menggunakan mekanisme penjadwalan pada ESP32. Data hasil pembacaan sensor diproses dan dikirimkan ke Firebase Realtime Database. Pada sisi dashboard, data diterima menggunakan fungsi onValue() sehingga tampilan diperbarui ketika terdapat perubahan data pada Firebase. Dengan demikian, interval satu jam merupakan interval pembacaan dan pengiriman data oleh ESP32, sedangkan pembaruan dashboard berlangsung berdasarkan perubahan data pada database. Kinerja sistem dianalisis menggunakan lima metode, yaitu *Black Box Testing*, *Success Rate*, *Response Time*, *System Reliability*, dan *Monitoring Interval Accuracy*. *Black Box Testing* digunakan untuk mengetahui kesesuaian fungsi sistem berdasarkan masukan dan keluaran, *Success Rate* untuk mengetahui tingkat keberhasilan operasi, *Response Time* untuk mengukur waktu respons, *System Reliability* untuk mengetahui konsistensi operasional sistem, dan *Monitoring Interval Accuracy* untuk mengetahui kesesuaian pelaksanaan monitoring dengan interval satu jam.



Gambar 1. Arsitektur Sistem Monitoring

Copyright © SENASIF 2026

ISSN: 2598-0076

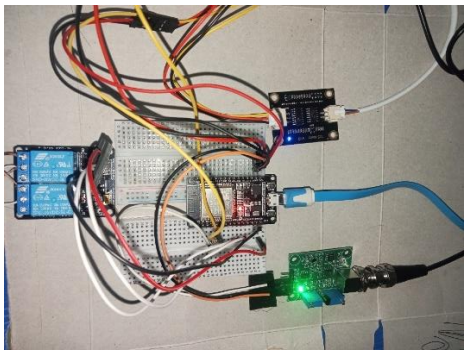
Arsitektur tersebut menunjukkan hubungan antara sensor, ESP32, aktuator, Firebase, dashboard, dan Telegram. Pendekatan integrasi semacam ini sesuai dengan karakteristik sistem IoT yang menggabungkan perangkat penginderaan, pengendalian, komunikasi, pengolahan data, dan antarmuka pengguna [7].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengembangan Sistem

Penelitian ini menghasilkan prototipe sistem monitoring dan kontrol media tanam bayam hidroponik berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan sensor pH, sensor *Total Dissolved Solids* (TDS), sensor *water level*, relay, pompa air, pompa nutrisi, Firebase Realtime Database, dashboard berbasis web, dan Telegram. Sistem tidak hanya digunakan untuk memperoleh informasi kondisi media tanam, tetapi juga menjalankan kontrol pompa berdasarkan kondisi yang telah ditentukan pada program. Data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32, dikirimkan ke Firebase, kemudian digunakan sebagai sumber informasi pada dashboard dan sistem notifikasi Telegram.

Integrasi tersebut menghasilkan alur kerja yang terdiri atas proses akuisisi data, pengolahan data, pengambilan keputusan, pengendalian aktuator, penyimpanan data, serta penyampaian informasi kepada pengguna. Pendekatan integrasi beberapa komponen tersebut sesuai dengan karakteristik sistem IoT yang menggabungkan perangkat penginderaan, mikrokontroler, komunikasi jaringan, penyimpanan data, dan antarmuka pengguna [7], [8]. Pada penelitian hidroponik berbasis IoT sebelumnya, integrasi sensor dan mikrokontroler juga telah digunakan untuk membantu proses pemantauan kondisi tanaman [1], [5].



Gambar 2. Implementasi Rangkaian

3.2 Implementasi Monitoring dan Kontrol

Sistem melakukan monitoring terhadap tiga parameter utama, yaitu pH, TDS, dan ketinggian air. Ketiga parameter tersebut dipilih karena mewakili kondisi penting media tanam hidroponik. pH digunakan untuk mengetahui tingkat keasaman larutan, TDS digunakan sebagai indikator konsentrasi zat terlarut, sedangkan *water level* digunakan untuk mengetahui ketersediaan air pada

Copyright © SENASIF 2026
ISSN: 2598-0076

instalasi hidroponik. Pemantauan parameter tersebut sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan sensor untuk memperoleh kondisi larutan dan lingkungan hidroponik [1], [5], [6].

Monitoring dilakukan secara berkala dengan interval satu jam. Mekanisme penjadwalan menggunakan fungsi millis() sehingga proses monitoring tidak bergantung pada delay() yang dapat menghentikan proses lain pada program. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mekanisme tersebut mampu mempertahankan interval monitoring sesuai rancangan. Nilai *Monitoring Interval Accuracy* mencapai 100%, dengan 23 dari 23 interval yang dianalisis sesuai dengan interval satu jam.

Selain monitoring, sistem memiliki fungsi kontrol otomatis. Pompa air dikendalikan berdasarkan kondisi *water level*, sedangkan pompa nutrisi dikendalikan berdasarkan kondisi TDS. Ketika nilai berada di bawah batas yang ditentukan, sistem mengaktifkan relay yang sesuai. Mekanisme tersebut membuat sistem memiliki fungsi *closed-loop control*, karena hasil pembacaan sensor digunakan sebagai dasar untuk menentukan tindakan aktuator.

Pada sisi keamanan operasi, sistem menggunakan mekanisme *safety flag* dan batas durasi pompa. Selain itu, fitur *auto-reconnect* digunakan untuk menjaga konektivitas Wi-Fi. Ketika koneksi terputus, ESP32 melakukan percobaan koneksi ulang tanpa menghentikan fungsi dasar perangkat keras. Pendekatan tersebut membantu menjaga agar proses pembacaan sensor dan pengendalian lokal tetap dapat berjalan ketika koneksi cloud mengalami gangguan.

3.3 Implementasi Dashboard dan Firebase

Dashboard monitoring dikembangkan menggunakan HTML5, CSS3, JavaScript, Bootstrap 5.3.0, dan Chart.js. Informasi yang ditampilkan meliputi nilai pH, TDS, ketinggian air, status pompa, waktu pembaruan terakhir, serta histori data monitoring. Data dashboard bersumber dari Firebase Realtime Database. Penggunaan dashboard berbasis web memberikan kemudahan bagi pengguna untuk melihat kondisi sistem melalui perangkat yang terhubung dengan internet.

Data Firebase diterima pada dashboard menggunakan fungsi onValue(). Mekanisme tersebut menyebabkan dashboard memperbarui tampilan ketika terdapat perubahan pada data yang diamati. Perlu dibedakan bahwa penggunaan onValue() pada dashboard tidak mengubah interval pembacaan sensor. ESP32 tetap melakukan pembacaan dan pengiriman data setiap satu jam, sedangkan onValue() hanya menangani pembaruan tampilan ketika data baru tersedia.

Dashboard juga menyediakan grafik histori pH, TDS, dan *water level*. Grafik digunakan untuk membantu pengguna melihat perubahan parameter dari waktu ke waktu. Penyajian data dalam bentuk grafik dapat memberikan informasi yang lebih mudah dipahami dibandingkan hanya menampilkan nilai numerik. Pendekatan penggunaan dashboard dan Chart.js pada sistem hidroponik juga telah diterapkan. [10]. Selain dashboard, Firebase berfungsi sebagai media penyimpanan data sehingga hasil monitoring dapat digunakan kembali untuk melihat histori kondisi sistem. Penggunaan penyimpanan berbasis cloud juga mendukung karakteristik monitoring jarak jauh pada sistem IoT [3].

Copyright © SENASIF 2026

ISSN: 2598-0076

3.4 Implementasi Notifikasi Telegram

Telegram Bot digunakan sebagai media penyampaian notifikasi kepada pengguna ketika kondisi tertentu terpenuhi. Notifikasi digunakan sebagai pelengkap dashboard sehingga pengguna tidak harus selalu membuka halaman monitoring untuk mengetahui kondisi sistem.

Penggunaan Telegram sebagai media notifikasi memiliki kesesuaian dengan penelitian Islamy dan Wisudawati [11] yang menerapkan Telegram Bot pada sistem monitoring tanaman berbasis IoT. Dengan adanya notifikasi, sistem dapat memberikan informasi secara aktif kepada pengguna ketika kondisi yang membutuhkan perhatian terdeteksi.

3.5 Hasil Kalibrasi Sensor

Kalibrasi dilakukan sebelum pengujian sistem untuk memperoleh pembacaan sensor yang sesuai dengan nilai referensi. Pada sensor *water level*, digunakan lima titik kalibrasi, yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Nilai rata-rata ADC yang diperoleh masing-masing sebesar 0, 1048, 1800, 1883, dan 1934. Data tersebut digunakan sebagai titik referensi dalam proses interpolasi *piecewise linear*.

Sensor TDS dikalibrasi menggunakan larutan referensi sebesar 497 ppm, 806 ppm, dan 1009 ppm. Rata-rata pembacaan sensor masing-masing sebesar 450 ppm, 815 ppm, dan 1003 ppm. Hasil tersebut kemudian digunakan sebagai dasar pembentukan tabel kalibrasi tiga titik yang diterapkan pada firmware ESP32.

Sensor pH dikalibrasi menggunakan larutan buffer pH 4,01, 6,86, dan 9,18. Pembacaan dilakukan secara berulang dan nilai rata-rata digunakan sebagai dasar hubungan antara tegangan keluaran sensor dan nilai pH.

Proses kalibrasi menjadi bagian penting karena data sensor digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan sistem. Kesalahan pembacaan sensor dapat menyebabkan kesalahan dalam proses monitoring maupun aktivasi aktuator. Oleh karena itu, hasil kalibrasi digunakan langsung pada proses pengolahan data ESP32 sebelum data dikirimkan ke Firebase.

3.6 Hasil Pengujian Black Box

Pengujian *Black Box* digunakan untuk mengetahui apakah fungsi utama sistem menghasilkan keluaran sesuai dengan rancangan. Pengujian mencakup pembacaan sensor pH, TDS, dan *water level*, pengendalian pompa, pengiriman data ke Firebase, pengiriman notifikasi Telegram, serta penyajian data pada dashboard. Pengujian menggunakan 24 data pada interval satu jam dan 24 data pada interval satu menit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fungsi utama berjalan sesuai dengan keluaran yang diharapkan dan dinyatakan valid. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak dapat berjalan sesuai dengan rancangan. Sensor mampu mengirimkan data kepada ESP32, ESP32 mampu memproses data dan menjalankan logika kontrol, sedangkan data hasil monitoring dapat diteruskan menuju Firebase dan ditampilkan pada

Copyright © SENASIF 2026
ISSN: 2598-0076

dashboard. Temuan tersebut memperkuat hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa integrasi mikrokontroler, sensor, dan aktuator dapat digunakan untuk membangun sistem monitoring dan kontrol hidroponik [5].

3.7 Hasil Pengujian Succes Rate

Pengujian *Success Rate* dilakukan terhadap komunikasi data dan pengendalian aktuator. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengiriman data dari ESP32 menuju Firebase berhasil pada 24 dari 24 percobaan. Pengiriman notifikasi Telegram juga berhasil pada 24 dari 24 percobaan. Pengendalian pompa air dan pompa nutrisi juga berhasil pada seluruh kejadian aktivasi dan pemadaman yang diuji. Hasil tersebut menunjukkan bahwa komunikasi antara ESP32 dengan layanan Firebase dan Telegram dapat berjalan dengan baik selama skenario pengujian. Demikian pula, relay dapat mengaktifkan dan mematikan pompa sesuai kondisi yang ditentukan. Meskipun demikian, nilai 100% harus dipahami dalam konteks jumlah percobaan yang dilakukan sehingga belum dapat digunakan untuk menyatakan performa sistem pada kondisi penggunaan jangka panjang.

3.8 Hasil Pengujian Respone Time

Pengujian *Response Time* dilakukan untuk mengetahui perbedaan waktu antara monitoring yang direncanakan dengan waktu aktual yang tercatat pada sistem. Hasil pengujian menunjukkan nilai minimum sebesar 0,880 detik, rata-rata 2,182 detik, dan maksimum 3,324 detik. Nilai tersebut relatif kecil apabila dibandingkan dengan interval monitoring yang digunakan, yaitu satu jam. Dengan demikian, keterlambatan respons tidak mengubah konsistensi interval monitoring sistem. Hasil ini juga perlu dipahami sesuai karakteristik penelitian. *Response Time* yang diukur merupakan waktu berdasarkan timestamp proses monitoring, bukan waktu keseluruhan dari saat kondisi fisik berubah sampai pengguna menerima notifikasi. Oleh karena itu, nilai 2,182 detik digunakan untuk menggambarkan respons proses sistem dalam skenario pengujian, bukan sebagai ukuran tunggal pengalaman pengguna.

3.9 Hasil Pengujian System Reliability

Pengujian *System Reliability* dilakukan terhadap pembacaan sensor, pengiriman data Firebase, kontrol relay, pembaruan dashboard, dan notifikasi Telegram. Masing-masing fungsi diuji sebanyak 24 kali dan seluruh operasi berhasil dilakukan tanpa kegagalan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa seluruh fungsi utama dapat berjalan secara konsisten selama periode pengujian. Stabilitas sistem didukung oleh penggunaan millis() sebagai pengatur interval monitoring, mekanisme *auto-reconnect* pada jaringan Wi-Fi, serta pemisahan proses pembacaan sensor dan kontrol lokal dari proses komunikasi cloudHasil tersebut menunjukkan bahwa seluruh fungsi utama dapat berjalan secara konsisten selama periode pengujian. Dalam pengembangan sistem IoT untuk

Copyright © SENASIF 2026

ISSN: 2598-0076

monitoring pertanian, aspek *reliability* dan *robustness* perlu diperhatikan karena sistem bergantung pada perangkat sensor, komunikasi jaringan, dan proses pengiriman data. Bayih et al. [15] menekankan pentingnya pertimbangan keandalan perangkat, protokol komunikasi, serta strategi pengambilan data dalam perancangan sistem IoT untuk monitoring pertanian.secara stabil.

3.10 Hasil Monitoring Interval Accuracy

Monitoring dirancang dilakukan setiap satu jam. Berdasarkan pengujian, terdapat 23 interval yang dianalisis dan seluruhnya memenuhi interval yang telah ditentukan sehingga diperoleh *Monitoring Interval Accuracy* sebesar 100%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa mekanisme penjadwalan pada ESP32 mampu menjalankan proses monitoring secara konsisten. Penggunaan millis() memungkinkan sistem melakukan penjadwalan tanpa menghentikan proses program lainnya sebagaimana yang dapat terjadi apabila menggunakan delay(). Dengan demikian, sistem dapat mempertahankan interval monitoring sekaligus menjalankan proses pembacaan sensor, komunikasi data, dan pengendalian relay. Konsistensi interval menjadi penting dalam penelitian ini karena sistem memang tidak dirancang untuk melakukan pembacaan sensor secara terus-menerus. Interval satu jam digunakan sebagai karakteristik utama sistem, sehingga keberhasilan mempertahankan interval tersebut menjadi salah satu indikator keberhasilan pengembangan.

3.11 Evaluasi Keseluruhan Sistem

Berdasarkan hasil pengujian, seluruh fungsi utama sistem telah berjalan sesuai dengan rancangan. *Black Box Testing* menunjukkan bahwa fungsi pembacaan sensor, pengendalian pompa, komunikasi data, dashboard, dan notifikasi dapat dijalankan dengan valid. *Success Rate* pengiriman data ke Firebase dan Telegram masing-masing mencapai 100%, sedangkan seluruh kejadian aktivasi dan pemadaman pompa yang diamati juga berhasil.

Tabel 1. Hasil Evaluasi Keseluruhan Sitem

No.	Parameter Evaluasi	Hasil Pengujian	Kesimpulan
1	Black Box Testing	Seluruh fungsi utama berjalan sesuai rancangan	Valid
2	Success Rate ESP32 → Firebase	24/24 berhasil	100%
3	Success Rate ESP32 → Telegram	24/24 berhasil	100%
4	Relay Pompa Air – ON	3/3 berhasil	100%
5	Relay Pompa Air – OFF	3/3 berhasil	100%
6	Relay Pompa Nutrisi – ON	3/3 berhasil	100%
7	Relay Pompa Nutrisi – OFF	3/3 berhasil	100%
8	Response Time	Rata-rata 2,182 detik	Respons relatif cepat
9	System Reliability	Fungsi utama berjalan konsisten	Baik
10	Monitoring Interval Accuracy	23/23 interval sesuai	100%

Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa produk yang dikembangkan telah mampu menjalankan fungsi monitoring, kontrol otomatis, komunikasi data, penyimpanan data,

Copyright © SENASIF 2026
ISSN: 2598-0076

visualisasi, dan notifikasi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi beberapa komponen dalam sistem dapat berjalan sesuai rancangan. Sistem tidak hanya mampu membaca kondisi media tanam, tetapi juga menggunakan hasil pembacaan untuk menjalankan aktuator. Data kemudian disimpan pada cloud dan disampaikan kembali kepada pengguna melalui dua jalur, yaitu dashboard dan Telegram. Pendekatan integrasi tersebut mendukung konsep IoT pada sistem pertanian yang menghubungkan perangkat fisik dengan layanan jaringan dan antarmuka pengguna [3], [7], [8].

3.12 Keterbatasan Penelitian

Meskipun sistem berhasil menjalankan fungsi yang dirancang, penelitian ini masih memiliki keterbatasan. Pertama, monitoring dilakukan secara berkala dengan interval satu jam sehingga perubahan kondisi media tanam yang terjadi di antara dua waktu pembacaan tidak langsung tercatat. Hal ini merupakan konsekuensi dari rancangan sistem yang memang menggunakan monitoring periodik.

Kedua, pengujian dilakukan pada skala prototipe dan dalam lingkungan pengujian yang terbatas. Kondisi penggunaan yang berbeda, terutama perubahan kualitas jaringan, kondisi sensor, dan penggunaan dalam jangka panjang, dapat menghasilkan kinerja yang berbeda. Oleh karena itu, hasil penelitian belum dapat digeneralisasikan sebagai performa sistem untuk penggunaan hidroponik skala komersial.

Ketiga, jumlah data pengujian yang digunakan relatif terbatas. Nilai *Success Rate* dan *System Reliability* sebesar 100% menunjukkan keberhasilan pada skenario pengujian yang dilakukan, tetapi belum dapat digunakan untuk menggambarkan keandalan sistem dalam periode operasional yang jauh lebih panjang.

Keempat, *Response Time* dalam penelitian dihitung berdasarkan timestamp pada proses monitoring sehingga belum menggambarkan seluruh waktu yang dibutuhkan sejak perubahan kondisi fisik media tanam hingga informasi diterima pengguna. Keterbatasan tersebut perlu diperhatikan ketika hasil penelitian dibandingkan dengan penelitian lain yang menggunakan definisi *Response Time* berbeda.

IV. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem monitoring dan kontrol media tanam bayam hidroponik berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32 yang mampu memantau parameter pH, TDS, dan ketinggian air serta mengendalikan pompa air dan pompa nutrisi secara otomatis. Sistem juga berhasil mengintegrasikan Firebase Realtime Database, dashboard berbasis web, dan Telegram sebagai media penyimpanan, pemantauan, dan penyampaian informasi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fungsi utama sistem berjalan sesuai rancangan dengan *Success Rate* dan *System Reliability* sebesar 100%. Sistem memiliki rata-rata *Response Time*

Copyright © SENASIF 2026

ISSN: 2598-0076

sebesar 2,182 detik dan *Monitoring Interval Accuracy* sebesar 100%, sehingga sistem mampu menjalankan proses monitoring secara konsisten sesuai interval satu jam yang ditetapkan.

DAFTAR RUJUKAN

[1] S. Karim, I. M. Khamidah, dan Yulianto, "Sistem Monitoring Pada Tanaman Hidroponik Menggunakan Arduino UNO dan NodeMCU," *Bul. Poltanesa*, vol. 22, no. 1, 2021, doi: 10.51967/tanesa.v22i1.331.

[2] A. R. Hakim *dkk.*, "Introduksi Smart Farming Bagi Generasi Milenial," *Unram J. Community Serv.*, vol. 4, no. 1, pp. 7–10, 2023, doi: 10.29303/ujcs.v4i1.435.

[3] F. Rahutomo, S. Sutrisno, S. Pramono, M. E. Sulistyo, M. H. Ibrahim, dan J. Haryono, "Implementasi dan Sosialisasi Smart Farming Hidroponik Berbasis Internet of Thing di Dusun Ngentak, Bulakrejo, Sukoharjo," *J. Abdi Masy. Indones.*, vol. 2, no. 6, pp. 1961–1970, 2022, doi: 10.54082/jamsi.567.

[4] G. M. Bonde, D. P. M. Ludong, dan M. E. I. Najoan, "Smart Agricultural System in Greenhouse based on Internet of Things for Lettuce (Lactuca sativa L.)," 2021.

[5] A. Abu Sneineh dan A. A. A. Shabaneh, "Design of a smart hydroponics monitoring system using an ESP32 microcontroller and the Internet of Things," *MethodsX*, vol. 11, pp. 102401, 2023, doi: 10.1016/j.mex.2023.102401.

[6] A. Banjardana, T. Andriani, P. A. Topan, dan N. Aryanto, "PROTOTIPE SISTEM MONITORING DAN KONTROL PH SERTA NUTRISI TANAMAN HIDROPONIK BERBASIS IOT UNTUK PERTANIAN," *J. Inform. Teknol. Dan Sains Jinteks*, vol. 6, no. 3, pp. 455–464, 2024, doi: 10.51401/jinteks.v6i3.4341.

[7] A. S. Ilmananda, R. D. Marcus, dan F. Y. Pamuji, "Pemanfaatan Infrastruktur Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) dalam Pengembangan Smart City: Studi Kasus Pemerintah Kota Batu," *Briliant J. Ris. Dan Konseptual*, vol. 7, no. 1, pp. 253, 2022, doi: 10.28926/briliant.v7i1.794.

[8] N. D. Hendrawan, R. M. Arief, dan B. Prihatiningsih, "Implementasi IoT pada Mesin Gibrik Pengering Sampah Anorganik berbasis Graphical User Interface," *JAST J. Apl. Sains Dan Teknol.*, vol. 8, no. 2, pp. 212–228, 2024, doi: 10.33366/jast.v8i2.6317.

[9] H. Hairatunnisa, H. A. Nugroho, dan R. Margiono, "Analisis Kinerja Protokol MQTT dan HTTP Pada Akuisisi Data Magnet Berbasis Internet of Things," *J. Ilm. Inform.*, vol. 6, no. 2, pp. 71–80, 2021, doi: 10.35316/jimi.v6i2.1351.

[10] M. P. Toppany, D. Kurnia, dan R. P. H. Adji, "INTEGRASI FRAMEWORK BOOTSTRAP DAN CHART.JS UNTUK VISUALISASI DATA SENSOR PADA SISTEM HIDROPONIK BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)," vol. 1, no. 2, 2024.

Copyright © SENASIF 2026
ISSN: 2598-0076

[11] I. Islamy dan L. M. Wisudawati, “Sistem Monitoring Smart Garden Tanaman Cabai Berbasis IoT Menggunakan Protokol MQTT, Node Red, dan Telegram Bot,” *J. Teknotan*, vol. 17, no. 3, pp. 197, 2023, doi: 10.24198/jt.vol17n3.6.

[12] M. M. Ilmi, H. Pramaditya, dan A. P. Sanusi, “Sistem deteksi kebakaran otomatis menggunakan sensor api, suhu, dan asap berbasis IoT,” *J. Inf. Syst. Appl. Dev.*, vol. 3, no. 1, 2025, doi: 10.26905/jisad.v3i1.15397.

[13] Ade Rahayu, “Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D) : Pengertian, Jenis dan Tahapan,” *DIAJAR J. Pendidik. Dan Pembelajaran*, vol. 4, no. 3, pp. 459–470, 025, doi: 10.54259/diajar.v4i3.5092.

[14] M. Gustina, T. Mustika Sarjani, dan D. Fitria, “Development of Inquiry Based Modules in Biology Subjects,” *Bioilmi J. Pendidik.*, vol. 10, no. 1, pp. 58–69, 2024, doi: 10.19109/bioilmi.v10i1.22821.

[15] A. Z. Bayih, R. A. De By, Y. Assabie, dan J. M. Guarin, “Internet-of-Things and Wireless Sensor Networks as Enablers for Soil Observation in Smallholder Farms,” dalam *2023 International Conference on Earth Observation and Geo-Spatial Information (ICEOGI)*, Algiers, Algeria: IEEE, pp. 1–6, 2023, doi: 10.1109/ICEOGI57454.2023.10292956.

Copyright © SENASIF 2026
ISSN: 2598-0076