



Early Warning System (EWS) Kualitas Air Hidroponik Melon Berbasis IoT dan Sensor pH - TDS - Suhu

Lilis Kurlina, Amalia Herlina*, Zainal Arifin

Fakultas Teknik, Program Studi Teknologi Informasi, Universitas Nurul Jadid, Probolinggo, Indonesia

Email: ¹kurlina14@email.com, ^{2,*}amalia@unuja.ac.id, ³zainal@unuja.ac.id

Email Penulis Korespondensi: amalia@unuja.ac.id

Abstrak–Ketergantungan pada alat ukur genggam dalam pengelolaan budidaya melon hidroponik di Tanjung Farm menjadi kendala utama karena tidak mampu mendeteksi perubahan kondisi air secara cepat dan kontinu, sehingga meningkatkan risiko kegagalan panen akibat keterlambatan penanganan. Penelitian ini bertujuan membangun sistem pemantauan kualitas larutan nutrisi berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu mengukur empat parameter air secara langsung, yaitu derajat keasaman (pH), kepekatan nutrisi (Total Dissolved Solids/TDS), kekeruhan (turbidity), dan suhu, yang dilengkapi mekanisme peringatan dini otomatis atau Early Warning System (EWS). Penelitian menggunakan rancangan Mixed Methods dengan pendekatan pengembangan prototipe yang dilaksanakan di Tanjung Farm pada periode 2025–2026 dengan melibatkan 2 responden yaitu kepala kebun dan pengelola kebun sebagai pengguna sistem. Perangkat dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai inti pemrosesan data, empat modul sensor kualitas air, basis data MySQL untuk pengarsipan, serta antarmuka web yang dikembangkan menggunakan framework Laravel. Evaluasi kinerja sistem menunjukkan sensor pH dan sensor suhu DS18B20 mencapai tingkat presisi tinggi dengan nilai galat 0% dibandingkan alat ukur genggam, sementara sensor TDS menghasilkan galat 26,7% akibat belum tersedianya modul kompensasi suhu pada perangkat keras. Rata-rata keterlambatan pengiriman data dari mikrokontroler ke server tercatat 5 detik dengan pembaruan notifikasi EWS setiap 30 detik. Sistem yang dihasilkan berhasil menggeser pola pemantauan konvensional menuju solusi digital terpadu yang dapat dioperasikan dari jarak jauh guna menjaga stabilitas produktivitas budidaya melon hidroponik.

Kata Kunci: Hidroponik; *Internet of Things*; Laravel; Monitoring Kualitas Air; Sistem Peringatan Dini

Abstract–Dependence on handheld instruments in managing hydroponic melon cultivation at Tanjung Farm is a major constraint, as it is unable to detect changes in water conditions rapidly and continuously, thereby increasing the risk of crop failure due to delayed intervention. This study aims to develop an IoT (Internet of Things)-based nutrient solution quality monitoring system capable of measuring four water parameters in real-time, namely pH (potential of Hydrogen), TDS (Total Dissolved Solids), turbidity, and temperature, equipped with an automatic Early Warning System (EWS). The study adopted a Mixed Methods design with a prototype development approach conducted at Tanjung Farm during 2025–2026, involving 2 respondents consisting of the farm supervisor and farm manager as system end-users. The system was constructed using an ESP32 microcontroller as the central processing unit, four water quality sensor modules, a MySQL database for data archiving, and a web interface developed using the Laravel framework. Performance evaluation revealed that the pH sensor and DS18B20 temperature sensor achieved high precision with a 0% error rate compared to handheld measuring instruments, while the TDS sensor produced a 26.7% error attributed to the absence of a hardware temperature compensation module. Average data transmission latency from the microcontroller to the server was recorded at 5 seconds with EWS notification updates every 30 seconds. The resulting system successfully shifted conventional monitoring patterns toward an integrated digital solution operable remotely to maintain the productivity stability of hydroponic melon cultivation.

Keywords: Early Warning System; Hydroponics; Internet of Things; Laravel; Water Quality Monitoring

1. PENDAHULUAN

Sistem budidaya hidroponik merupakan teknik pertanian modern yang mengandalkan air sebagai media utama penyalur nutrisi, yang keberhasilannya sangat bergantung pada stabilitas parameter kimia larutan untuk mencapai hasil panen maksimal (Muriyatmoko et al., 2023). Dalam budidaya melon super, pemantauan derajat keasaman (pH) dan kepekatan nutrisi (*Total Dissolved Solids/TDS*) menjadi faktor penentu karena fluktuasi pada kedua parameter ini dapat menghambat penyerapan unsur hara oleh akar tanaman (Chuzaini et al., 2022). Sistem hidroponik yang tidak dilengkapi pengawasan parameter secara kontinu terbukti rentan terhadap kegagalan panen akibat perubahan kondisi nutrisi yang tidak terdeteksi secara dini, sebagaimana ditunjukkan oleh berbagai penelitian pada budidaya sayuran dan buah hidroponik (Afandi et al., 2023).

Permasalahan tersebut tampak nyata pada karakteristik lingkungan Tanjung Farm yang dinamis, di mana tandon nutrisi sebagai pusat distribusi asupan tanaman melon super rentan mengalami perubahan kualitas air secara mendadak. Selama ini, pengelolaan kualitas air di Tanjung Farm masih bergantung sepenuhnya pada alat ukur genggam (*portable handheld meter*) yang mengharuskan petugas melakukan inspeksi fisik langsung ke tandon setiap beberapa jam sekali, sehingga perubahan kondisi air yang terjadi di luar jadwal pengecekan rutin tidak dapat terdeteksi secara otomatis (Syafitri et al., 2025). Keterlambatan deteksi anomali ini berisiko tinggi terhadap kesehatan tanaman, karena ketidakstabilan pH dan TDS yang tidak tertangani secara dini dapat mengganggu metabolisme tanaman, mengakibatkan pohon mudah layu dan sistem perakaran tidak kuat, hingga berujung pada kegagalan panen yang merugikan secara ekonomi (Harahap et al., 2024). Kondisi inilah yang menjadi urgensi utama sehingga penelitian mengenai sistem pemantauan otomatis pada titik tandon nutrisi perlu segera dilakukan, mengingat kerugian ekonomi akibat keterlambatan penanganan jauh lebih besar dibandingkan biaya investasi sistem pemantauan itu sendiri.

Penelitian mengenai pemantauan nutrisi hidroponik berbasis *Internet of Things* (IoT) sudah banyak dilakukan sebagai upaya mengatasi keterbatasan metode manual tersebut. Muriyatmoko et al., (2023) mengembangkan sistem



pemantauan nutrisi hidroponik menggunakan NodeMCU ESP8266 dengan sensor pH dan TDS yang terintegrasi platform *Blynk* secara *real-time*, mencapai akurasi rata-rata pH 92,09% dan TDS 73,19%, namun parameter yang diukur masih terbatas dan belum didukung basis data terstruktur untuk analisis jangka panjang. Chuzaini et al. (2022) melakukan penyempurnaan dengan membuktikan bahwa sistem IoT *monitoring* kualitas air menggunakan sensor suhu, pH, dan TDS mampu mendeteksi fluktuasi parameter secara *real-time* pada instalasi hidroponik, menegaskan pentingnya pengawasan multi-sensor untuk mencegah kondisi nutrisi melewati batas aman tanaman. Abu Sneineh & Shabaneh, (2023) mengembangkan lebih lanjut sistem kontrol dan *monitoring* hidroponik berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP32 yang terhubung ke platform *monitoring* secara *real-time*, namun masih memiliki keterbatasan pada visualisasi data historis dan manajemen trafik data multi-sensor. Fauzi & Suharjo, (2026) turut mengembangkan sistem *monitoring* hidroponik berbasis Arduino Uno yang mampu membaca parameter nutrisi dan mengirimkan data ke *database* melalui *website*, namun visualisasi dan pengelolaan datanya masih mengandalkan arsitektur yang terbatas skalabilitasnya. Dari sisi antarmuka web, Syafitri et al., (2025) membuktikan bahwa *framework* Laravel mampu menghasilkan sistem informasi berbasis web yang andal dengan *response time* rata-rata 1,2 detik, *throughput* 100 *request* per detik, dan ketersediaan sistem 99,9%, meskipun penerapannya belum menysasar domain *monitoring* hidroponik.

Berdasarkan kajian penelitian terdahulu di atas, terdapat *research gap* yang jelas: sebagian besar sistem eksisting belum memfokuskan pemantauan pada titik tandon nutrisi sebagai pusat distribusi asupan tanaman, belum menerapkan *framework* web yang mumpuni untuk pengelolaan data historis berskala besar secara terstruktur, serta minim mekanisme peringatan dini (*early warning*) otomatis yang responsif terhadap anomali parameter air. Sistem yang ada juga umumnya berdiri sendiri sebagai purwarupa pemantauan, tanpa integrasi arsitektur backend yang teruji keandalannya untuk operasional jangka panjang di lapangan.

Sebagai solusi atas permasalahan dan celah penelitian tersebut, penelitian ini mengembangkan Sistem Informasi *Early Warning System* (EWS) berbasis web menggunakan *framework* Laravel yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 dan empat sensor kualitas air, yaitu pH, TDS, *turbidity*, dan suhu, dengan pengawasan yang secara khusus terfokus pada titik tandon nutrisi di Tanjung Farm. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi anomali parameter air secara *real-time* dan mengarsipkan seluruh data historis ke basis data MySQL secara otomatis dan permanen, sehingga setiap penyimpangan kondisi nutrisi dapat ditangani dalam rentang waktu kurang dari dua jam guna mencegah kegagalan pertumbuhan tanaman. Pendekatan ini menjadi *state of the art* penelitian karena menggabungkan pemantauan multi-parameter yang terfokus pada titik kritis distribusi nutrisi dengan arsitektur web yang teruji keandalannya, sesuatu yang belum ditemukan secara bersamaan pada penelitian-penelitian sebelumnya.

Kontribusi penelitian ini terletak pada penerapan arsitektur IoT berbasis ESP32–Laravel dengan mekanisme EWS otomatis yang terfokus pada titik tandon nutrisi, menghasilkan solusi pemantauan digital yang lebih kontinu, terstruktur, adaptif, dan dapat diakses dari jarak jauh untuk mendukung stabilitas produksi melon super di Tanjung Farm pada rentang tahun 2025 hingga 2026 (Al Hakim et al., 2022). Diharapkan penelitian ini dapat menjadi rujukan implementasi sistem peringatan dini berbasis IoT yang dapat direplikasi pada budidaya hidroponik komoditas lain dengan karakteristik lingkungan yang serupa.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Kerangka Dasar Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, yang digunakan untuk mengukur akurasi sensor, latensi transmisi data, dan performa *Early Warning System* (EWS) secara terukur dan objektif berdasarkan data numerik hasil pengujian sistem (Setiawan et al., 2025). Kebutuhan sistem diidentifikasi melalui observasi langsung terhadap kondisi eksisting budidaya di lokasi mitra, yang hasilnya diterjemahkan ke dalam data dan spesifikasi teknis terukur sebagai dasar pengembangan sistem. Metode pengembangan sistem menggunakan pendekatan *prototype*, dipilih karena memungkinkan pengujian dan perbaikan sistem secara iteratif hingga menghasilkan produk yang benar-benar sesuai dengan kebutuhan pengguna di lapangan (Imam & Zamzami, 2025).

Penelitian dilaksanakan di Tanjung Farm, sebuah lokasi budidaya melon super hidroponik yang saat ini masih mengandalkan alat ukur genggam (*portable handheld meter*) dalam pengelolaan kualitas air tandon nutrisi. Penelitian ini melibatkan 2 responden, yaitu kepala kebun dan pengelola kebun, yang berperan sebagai pengguna akhir sistem *monitoring* yang dikembangkan. Pemilihan Tanjung Farm sebagai lokasi penelitian didasarkan pada pertimbangan bahwa lokasi ini memiliki karakteristik lingkungan yang dinamis dengan potensi fluktuasi parameter nutrisi yang tinggi, sehingga sangat relevan dengan kebutuhan sistem peringatan dini yang responsif.

Variabel penelitian terdiri dari variabel bebas berupa nilai pembacaan empat sensor kualitas air, yaitu pH, TDS (*Total Dissolved Solids*), *turbidity*, dan suhu, serta variabel terikat berupa akurasi sensor, latensi transmisi data, dan performa EWS dalam mendeteksi anomali parameter air (Septian, 2025)(Herlina et al., 2024). Sedangkan Hipotesis dalam penelitian ini adalah sistem *monitoring* berbasis IoT yang dikembangkan mampu mendeteksi anomali parameter kualitas air secara *real-time* dengan tingkat akurasi yang memadai dan latensi transmisi data yang cukup rendah untuk mendukung penanganan dini sebelum kondisi nutrisi berdampak pada kegagalan pertumbuhan tanaman melon super di Tanjung Farm (D. A. Aziz et al., 2023).

Teknik analisis data dilakukan secara deskriptif-kuantitatif dengan menghitung persentase galat (*error*) sensor



menggunakan perbandingan nilai pembacaan sensor terhadap alat ukur genggam, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut ini:

$$Error (\%) = \left| \frac{\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Alat Ukur}}{\text{Nilai Alat Ukur}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

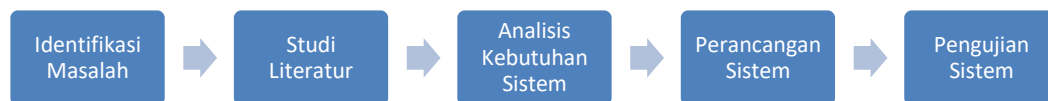
Selain itu, evaluasi latensi transmisi data dilakukan dengan mengamati selisih waktu antara pembacaan sensor oleh ESP32 hingga data berhasil tersimpan di server Laravel, serta performa EWS dievaluasi berdasarkan ketepatan sistem dalam memberikan notifikasi peringatan ketika nilai sensor melampaui ambang batas yang telah ditetapkan (Ihsan, Armin, 2024).

2.2 Objek Penelitian

Objek penelitian ini terdiri dari empat komponen utama yang saling berkaitan dan sejalan dengan kata kunci pada abstrak penelitian (Imansyah et al., 2022). Pertama, objek fisik berupa tandon nutrisi hidroponik pada budidaya melon super di Tanjung Farm, yang menjadi titik distribusi utama larutan nutrisi bagi seluruh tanaman (Wijayanto et al., 2024). Kedua, objek instrumentasi berupa mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan empat sensor kualitas air, yaitu sensor pH, TDS, *turbidity*, dan suhu (DS18B20), yang ditempatkan langsung pada titik tandon nutrisi tersebut. Ketiga, objek data berupa nilai pembacaan parameter pH, TDS, *turbidity*, dan suhu yang dikirimkan secara berkala dari ESP32 ke server, beserta seluruh riwayat data historisnya yang tersimpan pada basis data MySQL. Keempat, objek sistem berupa aplikasi *Early Warning System* (EWS) berbasis web yang dibangun menggunakan *framework* Laravel, mencakup *dashboard monitoring real-time* dan mekanisme notifikasi peringatan dini. Keempat objek tersebut secara bersama-sama membentuk ruang lingkup penelitian, yaitu pemantauan dan deteksi dini anomali kualitas air pada satu titik kritis budidaya hidroponik melon super, sehingga karakteristik data yang dianalisis terbatas pada parameter kimia air tandon nutrisi selama periode penelitian berlangsung.

2.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui lima tahapan utama yang digambarkan pada diagram alur tahapan penelitian sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Tahapan Penelitian

a. Tahap Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan kegiatan mengamati kondisi eksisting pengelolaan kualitas air di Tanjung Farm. Hasil observasi menunjukkan bahwa pengelola sepenuhnya bergantung pada alat ukur genggam yang dicelupkan secara berkala ke bak penampungan nutrisi, dengan pengecekan hanya dilakukan dua kali sehari (pagi dan sore), sehingga kondisi kimiawi air di luar jam tersebut sama sekali tidak terpantau. Ketiadaan pengarsipan data yang terstruktur juga menyulitkan pengelola mengetahui rekam jejak fluktuasi kepekatan nutrisi harian, yang berujung pada gejala daun mudah layu dan risiko kegagalan panen ketika cuaca panas ekstrem terjadi secara mendadak. Temuan ini memperkuat urgensi pengembangan sistem monitoring berkelanjutan yang mampu mendeteksi dan melaporkan anomali secara otomatis (Rivana et al., 2023).

b. Studi Literatur

Tahap Studi Literatur dilakukan untuk mengkaji referensi dari jurnal ilmiah, buku dan sumber akademis yang relevan dengan sistem hidroponik, sensor IoT, mikrokontroler ESP32 dan *framework* Laravel sebagai landasan teoretis perancangan sistem.

c. Analisis Kebutuhan Sistem

Pada tahap ini dilakukan penentuan spesifikasi sistem berdasarkan hasil identifikasi masalah dan studi literatur, meliputi pemilihan jenis sensor, mikrokontroler, *framework* pengembangan, serta konfigurasi ambang batas EWS yang mengacu pada standar agronomis budidaya melon super hidroponik.

d. Perancangan Sistem

Kegiatan pada tahap ini mencakup perancangan perangkat keras (integrasi empat sensor kualitas air yaitu sensor pH, TDS, *turbidity*, suhu dengan mikrokontroler ESP32 pada titik tandon nutrisi) dan perancangan perangkat lunak (pengembangan *backend* Laravel, basis data MySQL, antarmuka *dashboard* web dan mekanisme EWS dengan notifikasi Telegram). Alur data sistem digambarkan melalui *Data Flow Diagram* (DFD) Level 0 yang menunjukkan interaksi antara Sistem Monitoring dengan tiga entitas eksternal Pengelola, ESP32, Sensor dan Telegram Bot API. Sistem menerima data pH, TDS, *turbidity* dan suhu dari ESP32, Sensor, menerima ambang batas dan permintaan laporan dari Pengelola, serta mengirimkan notifikasi EWS ke Telegram Bot API ketika terdeteksi anomali kualitas air.

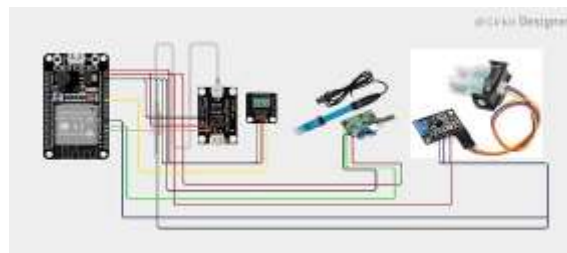
e. Pengujian Sistem

Tahap Pengujian Sistem merupakan tahap terakhir dalam penelitian ini. Pengujian dilakukan melalui tiga aspek pengujian akurasi sensor dengan membandingkan pembacaan sensor IoT terhadap alat ukur standar, pengujian

latensi transmisi data dari ESP32 ke server Laravel dan pengujian performa EWS mencakup kecepatan deteksi anomali serta interval pembaruan notifikasi Telegram. Hasil pengujian dievaluasi secara deskriptif dan dijadikan dasar perbaikan iteratif sistem.

2.4 Perancangan Sistem

Perancangan sistem terdiri dari dua aspek utama, yaitu 1) perancangan perangkat keras dan 2) perancangan perangkat lunak. Pada perancangan perangkat keras, keempat sensor ditempatkan pada titik tandon nutrisi sebagai pusat distribusi larutan, terdiri dari sensor pH untuk mengukur derajat keasaman, sensor TDS untuk mengukur kepekatan nutrisi, sensor *turbidity* untuk mengukur tingkat kekeruhan air, dan sensor suhu DS18B20 untuk mengukur temperatur larutan (Azmi et al., 2025). Seluruh sensor diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP32 yang dipilih karena memiliki kemampuan koneksi WiFi bawaan dan dukungan *multi-sensor* dalam satu perangkat. Skema perancangan perangkat keras ditunjukkan pada Gambar 2.



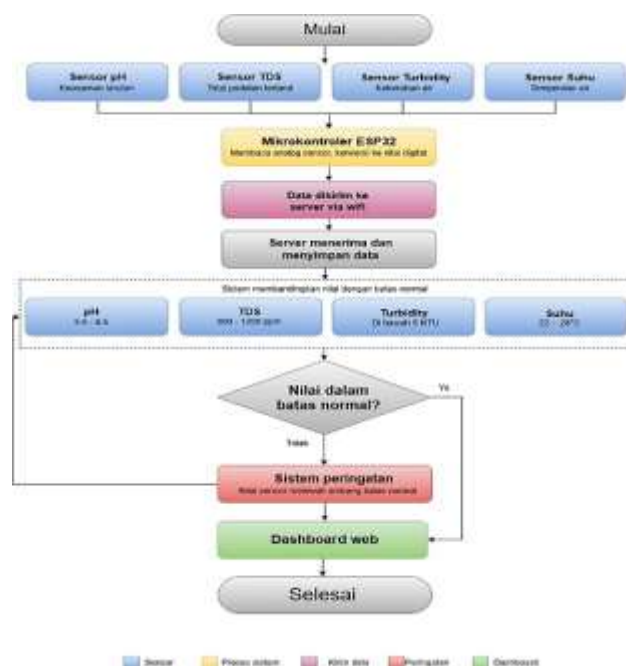
Gambar 2. Skema Perancangan Perangkat Keras

Pada perancangan perangkat lunak, *framework* Laravel digunakan sebagai *backend* utama dengan arsitektur MVC (*Model-View-Controller*) yang terstruktur dan aman (Valensyah & Irnawati, 2024). Basis data MySQL digunakan untuk menyimpan seluruh data historis parameter air secara permanen dan otomatis (Fadzar et al., 2024). Sistem membandingkan nilai sensor dengan ambang batas normal yang telah dikonfigurasi mengacu pada standar agronomis budidaya melon hidroponik sebagaimana tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Konfigurasi Ambang Batas EWS

No	Parameter	Batas Bawah	Batas Atas	Satuan
1	pH	5,5	6,5	-
2	TDS	800	1.200	ppm
3	Turbidity	-	50	NTU
4	Suhu	22	28	°C

Apabila nilai sensor berada dalam batas normal, data langsung ditampilkan pada *dashboard* web. Apabila nilai melampaui ambang batas, sistem secara otomatis mengaktifkan EWS sebagai notifikasi peringatan kepada pengguna dan data tetap ditampilkan pada *dashboard*. Alur kerja sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Alur Kerja Sistem



2.4.1 Perancangan Perangkat Keras

- Mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan utama yang memiliki kemampuan koneksi WiFi bawaan dan dukungan *multi-sensor* dalam satu perangkat.
 - Sensor pH analog untuk mengukur derajat keasaman larutan nutrisi pada tandon.
 - Sensor TDS untuk mengukur kepekatan nutrisi larutan berdasarkan konduktivitas elektrik.
 - Sensor *turbidity* untuk mengukur tingkat kekeruhan air pada tandon nutrisi.
 - Sensor suhu DS18B20 untuk mengukur temperatur larutan nutrisi secara digital.
- Spesifikasi lengkap komponen perangkat keras yang digunakan tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Komponen Perangkat keras

Komponen	Spesifikasi	Fungsi
ESP32	Dual-core, WiFi 2.4 GHz	Pemrosesan & pengiriman data
Sensor pH	Analog, range 0–14	Mengukur derajat keasaman
Sensor TDS	Analog, range 0–9999 ppm	Mengukur kepekatan nutrisi
Sensor <i>Turbidity</i>	Analog, range 0–3000 NTU	Mengukur kekeruhan air
Sensor Suhu DS18B20	Digital, range -55–125°C	Mengukur suhu larutan

2.4.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak terdiri dari tiga komponen utama yang saling terintegrasi:

- Backend* Laravel, dikembangkan dengan arsitektur MVC (*Model-View-Controller*) untuk mengelola penerimaan data dari ESP32, pemrosesan logika EWS, dan penyajian data kepada pengguna melalui antarmuka web.
- Basis data MySQL, digunakan untuk menyimpan seluruh data historis parameter air secara permanen dan otomatis setiap kali ESP32 mengirimkan data baru ke server.
- Dashboard* web, dikembangkan untuk menyajikan data sensor secara *real-time* menggunakan *gauge meter* interaktif dilengkapi indikator status kondisi air dan notifikasi EWS otomatis.

Sedangkan alur komunikasi antar komponen perangkat lunak bekerja sebagai berikut:

- Esp32 membaca data keempat sensor secara bersamaan dan mengirimkannya ke server melalui koneksi WiFi.
- Laravel menerima, memproses, dan menyimpan data ke basis data MySQL secara permanen.
- Sistem membandingkan nilai sensor dengan ambang batas pada Tabel 1 dan mengaktifkan EWS apabila nilai melampaui batas normal.
- Data ditampilkan secara *real-time* pada *dashboard* web yang dapat diakses pengguna dari jarak jauh (A. Aziz, 2026).

2.5 Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perangkat keras sensor IoT dan perangkat lunak pendukung pengembangan sistem. Validasi instrumen dilakukan dengan membandingkan nilai pembacaan masing-masing sensor terhadap *portable handheld meter* sebagai alat ukur acuan menggunakan persamaan galat pada persamaan (1). Seluruh instrumen diuji terlebih dahulu sebelum dipasang pada tandon nutrisi di Tanjung Farm untuk memastikan konsistensi dan keandalan pembacaan data. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali pengulangan pada masing-masing sensor guna mendapatkan nilai rata-rata yang representatif sebagai dasar evaluasi akurasi sistem secara.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil implementasi, pengujian, dan evaluasi sistem monitoring kualitas air hidroponik berbasis IoT yang dikembangkan di Tanjung Farm. Hasil disajikan secara sistematis meliputi implementasi perangkat keras, tampilan *dashboard* web, pengujian akurasi sensor, pengujian latensi transmisi data, dan performa *Early Warning System* (EWS). Seluruh hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dan dibandingkan dengan kajian penelitian sejenis untuk menunjukkan kebaruan dan kontribusi penelitian ini terhadap literatur yang ada.

3.1 Hasil Implementasi Sistem

Sistem monitoring kualitas air hidroponik berbasis IoT berhasil diterapkan di Tanjung Farm dengan mengintegrasikan empat sensor pada titik tandon nutrisi yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 dan disajikan melalui antarmuka web berbasis *framework* Laravel.



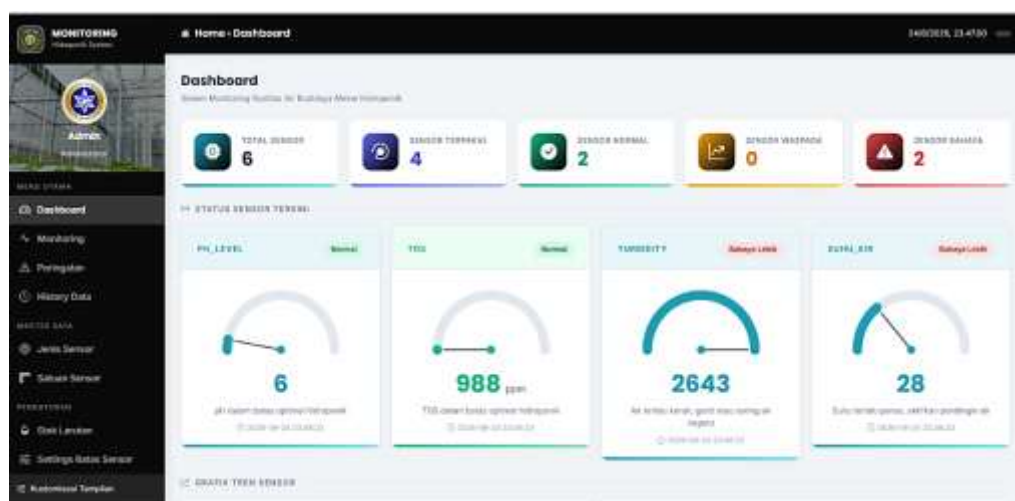
Gambar 4. Perakitan Perangkat Keras pada Tandon Nutrisi

Pemilihan titik tandon nutrisi sebagai lokasi penempatan sensor didasarkan pada pertimbangan bahwa seluruh larutan yang didistribusikan ke tanaman bersumber dari titik ini, sehingga pemantauan pada titik tersebut memberikan gambaran paling representatif terhadap kondisi nutrisi secara keseluruhan. Kondisi pemasangan perangkat keras pada lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.

Berdasarkan Gambar 4, seluruh komponen sensor berhasil dipasang dan terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 secara kompak pada titik tandon nutrisi. Perangkat terhubung ke jaringan WiFi yang tersedia di Tanjung Farm untuk mengirimkan data sensor ke server Laravel secara berkala. Sistem berhasil beroperasi secara kontinu tanpa gangguan selama periode pengujian, menunjukkan bahwa arsitektur perangkat keras yang dirancang mampu bekerja secara stabil dalam kondisi lingkungan budidaya yang dinamis.

3.2 Hasil Tampilan Dashboard Monitoring

Antarmuka *dashboard* yang dihasilkan menyajikan pembacaan keempat sensor secara *real-time* dilengkapi indikator status kondisi air dan rekomendasi tindakan otomatis kepada pengguna. Bagian atas *dashboard* merangkum jumlah total sensor aktif, sensor berkondisi normal, serta sensor yang terdeteksi dalam kondisi bahaya. Setiap parameter divisualisasikan menggunakan *gauge meter* interaktif yang memudahkan pengguna dalam membaca kondisi air tandon secara cepat dan intuitif. Tampilan *dashboard* monitoring ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan Dashboard Monitoring

Berdasarkan Gambar 5, *dashboard* berhasil menampilkan data keempat parameter secara simultan dalam satu halaman antarmuka yang terstruktur. Pengguna dapat memantau kondisi air tandon nutrisi dari jarak jauh melalui perangkat apapun yang terhubung ke internet tanpa harus hadir secara fisik di area budidaya. Fitur ini merupakan peningkatan signifikan dibandingkan metode konvensional yang mengharuskan petugas melakukan inspeksi langsung ke tandon setiap beberapa jam sekali. Riwayat data seluruh parameter tersimpan secara otomatis ke basis data MySQL dan dapat diakses kapan saja melalui halaman histori pada *dashboard*, sehingga pengelola kebun memiliki rekam jejak digital yang lengkap sebagai bahan evaluasi budidaya melon super secara berkala.

3.3 Hasil Pengujian Akurasi Sensor

Validasi akurasi sistem dilakukan dengan membandingkan nilai pembacaan masing-masing sensor terhadap *portable handheld meter* yang digunakan secara konvensional di Tanjung Farm. Perhitungan persentase galat menggunakan persamaan (1) yang telah ditetapkan pada bagian metode penelitian. Hasil perbandingan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Akurasi Sensor

No	Parameter	Nilai Sensor	Nilai Alat Ukur	Galat (%)
1	pH	8	8	0%
2	TDS	806 ppm	1.100 ppm	26,7%
3	Turbidity	1419 NTU	-	-
4	Suhu	32°C	30°C	6,6%

Berdasarkan Tabel 3, sensor pH mencatat nilai yang identik dengan *portable handheld meter* sehingga menghasilkan galat 0%, menunjukkan tingkat presisi yang sangat baik dalam mengukur derajat keasaman larutan nutrisi pada tandon. Sensor suhu DS18B20 mencatat nilai pembacaan sebesar 32°C dengan nilai alat ukur konvensional sebesar 30°C, menghasilkan galat sebesar 6,6%. Selisih sebesar 2°C ini dipengaruhi oleh posisi penempatan sensor pada tandon nutrisi yang kemungkinan terkena paparan panas langsung dari lingkungan sekitar, sehingga pembacaan sedikit lebih tinggi dibandingkan alat ukur genggam. Meskipun demikian, tingkat galat 6,6% masih berada dalam toleransi wajar untuk aplikasi *monitoring* lingkungan budidaya dan tidak berdampak signifikan terhadap keputusan penanganan



nutrisi, sehingga sensor suhu DS18B20 dinilai layak digunakan dalam sistem *monitoring* ini.

Sensor TDS menghasilkan galat 26,7% yang dipengaruhi oleh suhu cairan terhadap konduktivitas elektrik larutan nutrisi, di mana sensor fisik yang digunakan belum dibekali modul kompensasi suhu otomatis. Untuk mengatasinya, diperlukan kalibrasi perangkat keras berkala serta penambahan faktor koreksi matematis pada baris program mikrokontroler ESP32. Untuk sensor *turbidity*, validasi nilai kuantitatif belum dapat dilakukan karena keterbatasan ketersediaan instrumen pembanding genggam di lokasi mitra. Oleh karena itu, sistem menggunakan standar referensi batas atas agronomis umum sebesar 50 NTU sebagai acuan kondisi kritis air sirkulasi yang membutuhkan penanganan segera. Secara keseluruhan, capaian latensi data 5 detik dan interval EWS 30 detik dinilai sangat memadai untuk mencegah keterlambatan penanganan budidaya.

3.4 Hasil Pengujian Latensi Transmisi Data dan Early Warning System

Pengujian transmisi data dilakukan untuk mengukur rata-rata waktu yang dibutuhkan ESP32 dalam mengirimkan data sensor ke server Laravel hingga data berhasil tersimpan di basis data MySQL. Selain itu, pengujian performa EWS dilakukan untuk mengevaluasi ketepatan dan kecepatan sistem dalam memberikan notifikasi peringatan ketika nilai sensor melampaui ambang batas yang telah dikonfigurasi. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Latensi dan Performa EWS

No	Aspek Pengujian	Hasil	Keterangan
1	Latensi transmisi data ESP32 ke server	5 detik	Memadai
2	Interval pembaruan EWS	30 detik	Otomatis tanpa <i>reload</i>
3	Notifikasi peringatan anomali	Aktif otomatis	Tampil pada <i>dashboard</i>
4	Penyimpanan data ke MySQL	Otomatis permanen	Setiap pengiriman data

Berdasarkan Tabel 4, latensi transmisi data sebesar 5 detik menunjukkan bahwa ESP32 mampu mengirimkan data sensor ke server Laravel dengan kecepatan yang memadai untuk kebutuhan *monitoring* budidaya melon hidroponik. Interval pembaruan EWS setiap 30 detik memastikan bahwa notifikasi peringatan tersaji kepada pengguna secara berkala tanpa memerlukan pemuatan ulang halaman (*reload*), sehingga pengguna selalu mendapatkan informasi kondisi air terkini secara otomatis. Sistem EWS berhasil mendeteksi kondisi anomali parameter air secara otomatis dan menyajikan notifikasi peringatan kepada pengguna melalui *dashboard*, sehingga petani dapat mengambil tindakan korektif secara tepat waktu sebelum kondisi nutrisi berdampak pada kegagalan pertumbuhan tanaman.

3.5 Pembahasan

Hasil pengujian sistem monitoring yang dikembangkan menunjukkan bahwa hipotesis penelitian terbukti, di mana sistem berbasis IoT mampu mendeteksi anomali parameter kualitas air secara *real-time* dengan tingkat akurasi yang memadai dan latensi transmisi data yang cukup rendah untuk mendukung penanganan dini di Tanjung Farm. Sensor pH mencapai galat 0% dan sensor suhu DS18B20 mencapai galat 6,6%, yang keduanya berada dalam toleransi wajar untuk aplikasi *monitoring* lingkungan budidaya. Sensor TDS menghasilkan galat 26,7% yang masih dapat diatasi melalui penambahan algoritma kompensasi suhu pada program ESP32 di pengembangan berikutnya.

Apabila dibandingkan dengan penelitian sejenis, hasil ini menunjukkan peningkatan yang signifikan dari segi arsitektur dan fungsionalitas sistem. Muriyatmoko et al. (2023) mengembangkan sistem pemantauan hidroponik menggunakan NodeMCU ESP8266 dengan sensor pH dan TDS yang terintegrasi *platform* Blynk, mencapai akurasi rata-rata pH 92,09% dan TDS 73,19%. Penelitian ini menghasilkan akurasi sensor pH yang lebih tinggi dengan galat 0%, serta mengembangkan cakupan parameter yang lebih luas dengan menambahkan sensor *turbidity* dan suhu yang belum ada pada sistem Muriyatmoko et al. (2023). Selain itu, penggunaan basis data MySQL dan *framework* Laravel pada penelitian ini memungkinkan penyimpanan data historis yang lebih terstruktur dan permanen dibandingkan *platform* Blynk yang bersifat *cloud* pihak ketiga.

Chuzaini et al. (2022) membuktikan bahwa sistem IoT *monitoring* kualitas air menggunakan sensor suhu, pH, dan TDS mampu mendeteksi fluktuasi parameter secara *real-time* pada instalasi hidroponik. Penelitian ini memperkuat temuan Chuzaini et al. (2022) dengan menambahkan parameter *turbidity* sebagai indikator kekeruhan air yang belum diakomodasi pada sistem tersebut, sekaligus mengintegrasikan mekanisme EWS otomatis yang memberikan notifikasi langsung kepada pengguna ketika parameter melampaui ambang batas aman.

Aziz (2026) mengembangkan sistem kontrol dan *monitoring* hidroponik berbasis NodeMCU ESP32 yang terhubung ke *platform monitoring* secara *real-time*, namun masih memiliki keterbatasan pada visualisasi data historis dan manajemen trafik data *multi-sensor*. Penelitian ini mengatasi keterbatasan tersebut melalui penerapan *framework* Laravel sebagai *backend* utama yang mampu mengelola data *multi-sensor* secara efisien dengan dukungan arsitektur MVC yang terstruktur, sehingga visualisasi data historis dapat disajikan secara komprehensif melalui *dashboard* web yang responsif.

Fauzi & Suharjo (2026) mengembangkan sistem *monitoring* hidroponik berbasis Arduino Uno yang mampu membaca parameter nutrisi dan mengirimkan data ke *database* melalui *website*, namun visualisasi dan pengelolaan datanya masih mengandalkan arsitektur yang terbatas skalabilitasnya. Penelitian ini bermigrasi ke penggunaan ESP32 dan *framework* Laravel yang jauh lebih skalabel, aman, dan dinamis dalam mengelola data IoT berskala besar dibandingkan arsitektur yang digunakan Fauzi & Suharjo (2026). Syafitri et al. (2025) membuktikan bahwa *framework*



Laravel mampu menghasilkan sistem informasi berbasis web yang andal dengan *response time* rata-rata 1,2 detik dan ketersediaan sistem 99,9%. Penelitian ini mengadopsi pendekatan arsitektur Laravel yang sama dan berhasil membuktikan efektivitasnya dalam domain *monitoring* hidroponik dengan latensi transmisi data rata-rata 5 detik yang dinilai memadai untuk kebutuhan deteksi anomali nutrisi secara dini.

Secara keseluruhan, kontribusi utama penelitian ini terletak pada tiga aspek kebaruan dibandingkan penelitian sejenis. Pertama, pengawasan terfokus pada titik tandon nutrisi sebagai pusat distribusi larutan yang belum diakomodasi secara spesifik oleh penelitian sebelumnya. Kedua, integrasi EWS otomatis berbasis *threshold* agronomis yang memberikan notifikasi peringatan dini secara langsung kepada pengguna tanpa memerlukan pemantauan aktif. Ketiga, penerapan *framework* Laravel sebagai *backend* utama dalam domain *monitoring* hidroponik yang menghasilkan sistem lebih terstruktur, aman, dan skalabel untuk mendukung stabilitas produksi melon super di Tanjung Farm pada rentang tahun 2025 hingga 2026.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem monitoring kualitas air budidaya melon super hidroponik berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mengintegrasikan empat sensor, yaitu pH, TDS (*Total Dissolved Solids*), *turbidity*, dan suhu DS18B20, pada mikrokontroler ESP32 yang terhubung ke *framework* Laravel sebagai *backend* utama dengan basis data MySQL untuk pengarsipan data historis secara permanen di Tanjung Farm. Sistem yang dikembangkan terbukti mampu menjawab permasalahan ketergantungan pada alat ukur genggam dengan menghadirkan pemantauan parameter kualitas air secara *real-time* yang dapat diakses dari jarak jauh melalui *dashboard* web yang terstruktur dan responsif. Hasil pengujian akurasi menunjukkan bahwa sensor pH mencapai tingkat presisi sangat baik dengan galat 0%, sensor suhu DS18B20 menghasilkan galat 6,6% yang masih berada dalam toleransi wajar untuk aplikasi *monitoring* lingkungan budidaya, sedangkan sensor TDS menghasilkan galat 26,7% yang disebabkan oleh ketiadaan modul kompensasi suhu otomatis pada perangkat keras. Pengujian transmisi data menunjukkan latensi rata-rata 5 detik dari ESP32 ke server Laravel dengan interval pembaruan *Early Warning System* (EWS) setiap 30 detik, yang terbukti memadai untuk mendukung deteksi anomali nutrisi secara dini sebelum berdampak pada kegagalan pertumbuhan tanaman. Penelitian ini memiliki keterbatasan pada akurasi sensor TDS yang masih memerlukan perbaikan melalui penambahan algoritma kompensasi suhu pada program ESP32, serta sensor *turbidity* yang belum dapat divalidasi secara kuantitatif akibat keterbatasan instrumen pembanding di lokasi mitra. Selain itu, sistem saat ini belum dapat beroperasi secara *offline* karena bergantung sepenuhnya pada koneksi internet. Pada penelitian selanjutnya, disarankan untuk menambahkan modul kompensasi suhu pada sensor TDS, mengintegrasikan fitur kendali otomatis seperti pompa nutrisi, memperluas cakupan lokasi pengujian ke lebih banyak lahan hidroponik, serta mengembangkan aplikasi berbasis *mobile* agar notifikasi EWS dapat diterima pengguna secara lebih cepat dan fleksibel.

REFERENCES

- Abu Sneineh, A., & Shabaneh, A. A. A. (2023). Design of a smart hydroponics monitoring system using an ESP32 microcontroller and the Internet of Things. *MethodsX*, 11(June), 102401. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102401>
- Afandi, I. R., Febriawan, D., Fatur Rahman, A. S. F., Nazihah, F., Andreansyah, M. A., & Alfian, B. (2023). Aplikasi SIPEPRO 1.0 untuk pemantauan hidroponik dengan platform blynk terintegrasi ESP32. *TEKNOSAINS : Jurnal Sains, Teknologi Dan Informatika*, 10(1), 71–81. <https://doi.org/10.37373/tekno.v10i1.334>
- Al Hakim, R. R., Pangestu, A., Hidayah, H. A., Faizah, S., & Nugraha, D. (2022). Pemanfaatan Teknologi IoT untuk Pertanian Berkelanjutan (IoT Technology for Sustainable Agriculture). *E-Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Pertanian Berkelanjutan (INOPTAN)*, 1(1), 1–9. <https://jurnal.unikastpaulus.ac.id/index.php/inoptan/article/view/1400>
- Aziz, A. (2026). Implementasi Mikrokontroler ESP32 Dan Sensor Kualitas Air Dalam Sistem Monitoring Lingkungan Berbasis Internet of Things. 5(1), 1–13. <https://doi.org/10.59431/jmasif.v5i1.716>
- Aziz, D. A., Asgarnezhad, R., Mustafa, M. S., Saber, A. A., & Alani, S. (2023). A Developed IoT Platform-Based Data Repository for Smart Farming Applications. *Journal of Communications*, 18(3), 187–197. <https://doi.org/10.12720/jcm.18.3.187-197>
- Azmi, A., Irwansyah, M. A., Muhandi, H., Kom, M., Profesor, J., Nawawi, D. H. H., & Barat, K. (2025). Sistem Monitoring Kualitas Air Kolam Akuakultur Udang Vaname Berbasis Internet Of Things (Iot). *Justin*, 13(2), 205–213. <https://doi.org/10.26418/justin.v13i2.86599>
- Chuzaini, F., Wedi, D., Mata, S., Grogolan, A., Ngunut, D., & Tirta, S. (2022). IoT Monitoring Kualitas Air Dengan Menggunakan Sensor Suhu , pH , Dan Total Dissolved Solids (TDS). 11, 46–56.
- Fadzar, A., Azkiya, M. A., & Hakim, T. D. (2024). Perancangan Basis Data Budidaya Benih Ikan Air Tawar Adit Farm Menggunakan Mysql. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3.4437>
- Fauzi, L. R., & Suharjo, I. (2026). Prototipe Alat Deteksi Banjir Berbasis ESP32 , TinyML , dan Notifikasi. 8(01), 115–137.
- Harahap, M., Yustriawan, D., & Apriyanti, I. (2024). Budidaya Melon (Cucumis melo L) Hidroponik dalam



- Pemanfaatan Halaman Pekarangan Rumah di Desa Sampali Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang. *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, 9(3), 639–650.
- Herlina, A., Ardiansah, M. S., Fadilah, R., & Putra, S. A. H. M. (2024). Sistem Monitoring Kualitas Air Kolam Lele Berbasis IOT Dengan Sistem Tenaga Hibrida. *Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya*, 6(1), 33–45. <https://doi.org/10.36706/jres.v6i1.136>
- Ihsan, Armin, A. W. A. (2024). Penerapan Internet of Things Untuk Monitoring Kinerja Sensor Untuk Deteksi Dini Kebakaran. *Jurnal Sains Terapan*, 10(2), 101–106. <https://jurnal.poltekba.ac.id/index.php/jst/article/view/2307/1144>
- Imam, & Zamzami, M. N. (2025). Integrasi WSN dan IoT Untuk Sistem Monitoring Rumah Cerdas Berbasis MQTT. *Karapan Network Journal*, 1(1), 612–623. <https://ejournal.omahtabing.com/knj/en/article/view/58>
- Imansyah, A. A., Syamsiah, M., & Jakaria, M. (2022). Rancang Bangun Prototype Sistem Otomatis Dalam Budidaya Tanaman Hidroponik Berbasis IoT (Internet of Things). *Journal of Innovation and Research in Agriculture*, 1(1), 1–13. <https://doi.org/10.56916/jira.v1i1.97>
- Muriyatmoko, D., Kurnia, R., Utama, S. N., & Musthafa, A. (2023). Sistem Monitoring Jarak Jauh Kontrol pH Tanaman Selada Dengan Media Hidroponik. 11(1).
- Rivana, R. R., Made, M. R., Edilla, & Jajang Jaenudin. (2023). Sistem Monitoring Nutrisi dan PH Air pada Tanaman Hidroponik Berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 10(3). <https://doi.org/10.33795/elkolind.v10i3.3579>
- Septian, G. W. P. K. E. (2025). Aplikasi berbasis IoT untuk pemantauan dan pemeliharaan pc mini secara real-time. 18(2), 78–88.
- Setiawan, A., Jailani, S., & Risnita. (2025). Arus Jurnal Sosial dan Humaniora (AJSH) Penelitian Metode Campuran (Mixed Method) INFO PENULIS. *Arus Jurnal Sosial Dan Humaniora (AJSH)*, 5(2), 1484–1491.
- Syafitri, A. R., Angraeni, A., & Wibowo, A. (2025). IKN : Jurnal Informatika dan Kesehatan Sistem Informasi Manajemen Perpustakaan Digital Berbasis Web Menggunakan Framework Laravel IKN : Jurnal Informatika dan Kesehatan. 2, 89–98.
- Valensyah, F. A., & Irnawati, O. (2024). Sistem Informasi Berbasis Website Menggunakan Framework Laravel. 5(1), 7–14.
- Wijayanto, D., Silmina, E. P., Firdonsyah, A., & Aditiya, A. A. (2024). Prototype Iot Untuk Pemantauan Nutrisi Dan Ph Pada Hidroponik Menggunakan Esp32 Di Kebun Hidroponik Vefar Yogyakarta. *HOAQ (High Education of Organization Archive Quality) : Jurnal Teknologi Informasi*, 15(2), 100–106. <https://doi.org/10.52972/hoaq.vol15no2.p100-106>