

Sistem Monitoring Hidroponik Pada Tanaman Pakcoy Dengan Metode Nutrient Film Technique (NFT) Berbasis Internet Of Things

Zikril Huda*, Elang Derdian Marindani, Bomo Wibowo Sanjaya

Universitas Tanjungpura, Indonesia

Email: zikrilhuda@gmail.com*

Kata kunci:

Hidroponik,
Internet of
Things,
Monitoring,
Kontrol,
Nutrisi, Pakcoy,
NFT, pH, TDS,
Firebase

Abstrak (10pt)

Penelitian ini mengembangkan dan mengimplementasikan sistem hidroponik berbasis Internet of Things (IoT) yang dirancang untuk memonitor dan mengontrol kualitas nutrisi secara otomatis demi menjaga pertumbuhan tanaman yang optimal. Sistem ini mampu memonitor parameter krusial seperti pH, Total Dissolved Solids (TDS), suhu air, suhu lingkungan, dan kelembapan lingkungan, serta memiliki kapabilitas untuk mengontrol kadar pH dan TDS dalam larutan nutrisi. Implementasi dilakukan pada budidaya tanaman pakcoy menggunakan metode hidroponik Nutrient Film Technique (NFT), yang dipilih karena kesesuaiannya dengan integrasi IoT. Platform yang digunakan adalah sebuah website yang terhubung dengan Firebase Database, di mana data sensor diolah oleh mikrokontroler dan dikirimkan ke database untuk ditampilkan secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan tingkat persentase kesalahan sensor suhu air sebesar 1,53%, pH 6,31%, TDS 9,17%, suhu lingkungan 2,17%, dan kelembapan lingkungan 1,25%. Secara keseluruhan, pembacaan sensor yang digunakan dalam sistem ini menunjukkan performa yang memuaskan dalam mengukur kualitas air dan parameter lingkungan, sehingga mendukung pemeliharaan kualitas tanaman secara efektif.

Abstract

Keywords:
Hydroponics,
Internet of
Things,
Monitoring,
Control,
Nutrient,
Pakcoy, NFT,
pH, TDS,
Firebase

This research develops and implements an Internet of Things (IoT)-based hydroponic system designed to automatically monitor and control nutrient quality to ensure optimal plant growth. The system is capable of monitoring crucial parameters such as pH, Total Dissolved Solids (TDS), water temperature, ambient temperature, and ambient humidity, and possesses the capability to control pH and TDS levels in the nutrient solution. The implementation was conducted on pakcoy cultivation using the Nutrient Film Technique (NFT) hydroponic method, chosen for its suitability with IoT integration. The platform utilized is a website connected to a Firebase Database, where sensor data is processed by a microcontroller and transmitted to the database for real-time display. Testing results indicate sensor error percentages of 1.53% for water temperature, 6.31% for pH, 9.17% for TDS, 2.17% for ambient temperature, and 1.25% for ambient humidity. Overall, the sensor readings used in this system demonstrate satisfactory performance in measuring water quality and environmental parameters, thereby effectively supporting plant quality maintenance.

PENDAHULUAN

Pada saat ini, lahan pertanian pada daerah perkotaan di Indonesia sudah semakin berkurang. Hal tersebut disebabkan lahan pertanian dikonversi menjadi lahan industri dan menjadi lahan permukiman karena faktor ekonomi dan sosial, pertumbuhan ekonomi, pertumbuhan penduduk, dan keterbatasan lahan. Akibat dari keterbatasan lahan pertanian mengakibatkan para petani beralih fungsi ke lahan non pertanian. Salah satu solusi dalam meningkatkan produktivitas tumbuhan yaitu dengan menggunakan metode hidroponik. Metode hidroponik mampu mengatasi permasalahan lahan tanam bagi para petani karena metode ini menggunakan tempat yang tidak digunakan atau kosong pada daerah perkotaan, seperti atap

rumah, dinding bangunan, teras, dan balkon (misalnya di Bekasi, Kota Yogyakarta, dan Gorontalo) (Listyowati et al., 2023; Wulandari et al., 2023; Rasyidi, Ariyanto & Arizal, 2023).

Hidroponik dikenal dengan istilah *soilless culture*, yaitu teknik bercocok tanam tanpa menggunakan tanah. Pemenuhan nutrisi dilakukan bersamaan dengan pemberian air (fertigasi). Sehingga bercocok tanam secara hidroponik tidak tergantung pada kondisi lahan dan ketersediaan lahan. Hidroponik dapat diaplikasikan di lahan sempit melalui teknik penanaman bertingkat (vertikultur). Selain sebagai solusi bercocok tanam di lahan sempit, hidroponik juga banyak diaplikasikan sebagai solusi untuk mendapatkan sayuran yang segar dan aman konsumsi (non-pestisida). Selain itu, nutrisi yang diberikan pada sayuran yang dibudidayakan secara hidroponik disesuaikan jumlahnya sesuai dengan jenis tanaman yang ditanam sehingga pemenuhan nutrisi tanaman dapat optimal (Fauzi, Isnaeni, & Nurhidayah, 2024; Ristiyan et al., 2023; Toriq, Puspitawati, & Oxi, 2023; Kaswar, Mahande, & Malago, 2023; Sumiati & Surur, 2021; Putri Yeni Aisyah et al., 2024; Safii & Iksan, 2020).

Salah satu teknik hidroponik yang dapat digunakan yaitu sistem NFT (Nutrient Films Technique). Model budidaya dengan menggunakan sistem hidroponik NFT merupakan model budidaya yang dilakukan dengan meletakkan perakaran tanaman pada lapisan air yang tipis atau dangkal serta proses pemberian air dilakukan secara terus menerus. Air yang digunakan dalam model ini merupakan air yang mengandung nutrisi bagi tanaman. Air yang mengandung nutrisi akan mensirkulasikan alirannya sesuai dengan kebutuhan tanaman, sehingga perakaran dapat berkembang di dalam larutan nutrisi karena di sekeliling perakaran terdapat larutan nutrisi yang tipis, sehingga sistem ini dikenal dengan nama nutrient film techniques (NFT) (Niu & Masabni, 2022; *Frontiers in Plant Science*, 2024; Agustina, Haibir, & Prima, 2024; Hadi Putra & Pambudi, 2022; Tazri, 2023; *KnownNature Journal*, 2024; *IntechOpen*, 2023).

Tanaman Hidroponik membutuhkan pasokan air yang kaya akan nutrisi, nutrisi ini diperoleh dari unsur – unsur kimia yang terdapat di dalam larutan air seperti fosfor (P), nitrogen (N), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S), mangan (Mn), besi (Fe), seng (Zn), boron (B), molybdenum (Mo), dan tembaga (Cu). Larutan nutrisi adalah larutan pengganti unsur hara pada tanah dan menjadi nutrisi bagi tanaman pada masa pertumbuhan. Larutan nutrisi juga biasanya disebut dengan larutan nutrisi AB mix. Larutan nutrisi AB mix ini sudah mencakup unsur hara yang dibutuhkan tanaman pada masa pertumbuhan.

Pemberian larutan pada tanaman hidroponik dapat dilakukan secara teratur pada waktu tertentu atau dialirkan sepanjang hari. Namun demikian, kualitas nutrisi, pH air, dan suhu adalah aspek-aspek krusial yang memerlukan perhatian konstan demi optimalisasi pertumbuhan tanaman. Permasalahan muncul karena tingginya tingkat ketelitian yang dibutuhkan dalam memahami kondisi media. Oleh karena itu, proses pengembangan teknologi, seperti sistem pemantauan real-time selama 24 jam untuk kualitas nutrisi dan suhu lingkungan tanaman hidroponik, menjadi penting untuk menjawab tantangan tersebut (Rauf & Ferrarezi, 2025; Perumbilavil, Antony, & Matham, 2024; Rafdhi, Nandiyanto, Hirawan, Soegoto, Luckyardi, & Mega, 2021; Barus & Seo, 2022; Helmy, Nursyahid, Setyawan, & Hasan, 2022).

Salah satu tanaman hortikultura yang dapat dibudidayakan dengan sistem hidroponik menggunakan metode NFT yaitu tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*). Tanaman pakcoy merupakan salah satu jenis sayuran daun yang banyak dibudidayakan dengan sistem hidroponik. Tanaman pakcoy atau dikenal dengan nama lokal sawi sendok yang berasal dari Tiongkok. Pakcoy hidroponik memiliki prospek untuk dikembangkan karena permintaan pasar dan harga yang tinggi dibandingkan jenis sawi-sawian yang lain. Pakcoy (*Brassica rapa L.*) memiliki ciri batang yang pendek, berwarna hijau, dan berdaun lebar.

Dalam sistem hidroponik, pemilihan dan pengendalian parameter kunci seperti pH, Total Dissolved Solids (TDS), suhu (baik larutan nutrisi pada hidroponik maupun suhu di sekitar lingkungan penelitian), serta kelembapan udara relatif menjadi esensial karena secara langsung memengaruhi ketersediaan dan penyerapan nutrisi oleh tanaman, laju transpirasi, serta efisiensi fotosintesis. Parameter-parameter ini memerlukan pemantauan dan penyesuaian yang dinamis untuk memastikan kondisi optimal bagi pertumbuhan tanaman, mengingat pengaruh fundamentalnya terhadap proses fisiologis dan biokimia pada akar hingga daun. Berbeda dengan kelembapan lingkungan yang cenderung stabil dalam sistem hidroponik dan intensitas cahaya yang lebih statis setelah pengaturan awal, fluktuasi pada pH, TDS, serta suhu air nutrisi, dapat menyebabkan defisiensi nutrisi, dan stres tanaman secara cepat, sehingga penanganan yang presisi terhadapnya menjadi krusial untuk keberhasilan budidaya hidroponik.

Teknik penanaman dengan menggunakan metode hidroponik sangat bergantung terhadap nutrisi yang diberikan. Kadar nutrisi larutan yang diberikan pada tanaman pakcoy perlu dilakukan pemantauan dan pengendalian secara berkala agar nutrisi yang diperlukan oleh tanaman pakcoy tidak terganggu (Aryanti, 2025). Pengukuran kadar nutrisi menggunakan alat ukur dinilai kurang efektif, karena petani harus berada ditempat atau di ladang tanaman. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem kendali otomatis yang mampu mengatur serta memantau larutan nutrisi yang diperlukan bagi tanaman pakcoy agar nutrisi yang diperlukan tetap optimal. Pada penelitian ini dikembangkan sistem penanaman hidroponik menggunakan metode NFT untuk tanaman pakcoy, di dalamnya dilakukan proses otomatisasi terhadap pemantauan nutrisi tanaman pakcoy. Adapun parameter yang diukur pada penelitian ini antara lain nilai pH (Potential of Hydrogen), TDS (Total Dissolve Solid), suhu air (untuk larutan nutrisi) yang diberikan pada tanaman pakcoy serta suhu lingkungan dan kelembapan lingkungan untuk menjaga stabilitas pertumbuhan tanaman pakcoy (Siti Mashumah & Pramartaningthyas, 2023; Rancang Bangun NFT Pakcoy, 2025; Radita, Siskandar, & Chairunisa, 2023; Putri Yeni Aisyah et al., 2024; Helmy, Nursyahid, & Hasan, 2021; Saputra, 2022; Automatic Nutrient Feeding System, 2024).

Beberapa penelitian terdahulu, seperti yang dilakukan oleh Nuryudin (2024) yang meneliti efisiensi sistem hidroponik dengan teknik NFT di Indonesia, menunjukkan pentingnya pengendalian parameter tanaman secara otomatis. Namun, penelitian tersebut terbatas pada pengukuran manual dan belum mengimplementasikan teknologi yang lebih canggih seperti Internet of Things (IoT) untuk pemantauan real-time. Penelitian oleh Muttaqin (2025) juga mengidentifikasi bahwa kendala terbesar dalam budidaya hidroponik adalah kurangnya sistem otomatis yang dapat memberikan respons cepat terhadap perubahan parameter.

Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang sistem IoT yang dapat memonitor dan mengontrol parameter krusial dalam budidaya hidroponik pakcoy, serta mengotomatisasi pengisian larutan nutrisi. Dengan sistem ini, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan ketepatan pengelolaan nutrisi, serta memberikan kontribusi bagi kemajuan teknologi pertanian berkelanjutan.

METODE

Studi literatur merupakan metode yang berkaitan dengan pengumpulan data pustaka yang dapat berasal dari buku literatur, manual book, jurnal ilmiah, ataupun dapat berasal dari internet yang relevan dengan topik pembahasan. Data yang didapat selanjutnya akan dipelajari guna mendukung proses penulisan sehingga studi literatur ini dapat mempermudah suatu penelitian yang sedang dilakukan. Data ataupun informasi yang diambil harus sesuai atau berkaitan

dengan pokok bahasan dari penelitian ini. Data-data yang akan dikumpulkan melalui metode ini yaitu berupa komponen-komponen elektronika, rangkaian skematik, serta code program yang akan digunakan pada penelitian, sehingga dapat membantu dalam proses perancangan perangkat keras dan perangkat lunak.

Perancangan alat akan dilakukan dalam tiga tahap yaitu tahap pertama adalah proses desain yang merupakan tahap dimana perancangan awal yang nantinya akan menjadi acuan untuk membuat perangkat keras dan perangkat lunak. pada tahap pertama dilakukan desain perangkat lunak yang membuat UI/UX design yang bertujuan untuk merancang website kemudian dilakukan design media hidroponik sebagai alat untuk melakukan percobaan. tahap kedua merupakan perancangan perangkat keras (hardware) yang meliputi perancangan mikrokontroler beserta sensor yang akan digunakan dalam penelitian ini. Tahapan perancangan yang ketiga yaitu perancangan perangkat lunak (software) yang dimana pada perancangan ini meliputi perancangan software terkait yang akan digunakan dalam pembuatan perancangan alat monitoring dan controlling hidroponik tanaman pakcoy berbasis internet of things (IoT).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan sistem di dalam perancangan hidroponik berbasis IoT perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui kinerja dari sistem yang dibuat untuk memperoleh hasil yang andal dan efisien. Pengujian dilakukan di dalam lingkungan Universitas Tanjungpura khususnya di didalam lingkungan Fakultas Teknik. Proses pengujian dilakukan untuk dengan mengambil data dari sensor seperti sensor pH, sensor TDS, sensor suhu lingkungan, sensor suhu air, dan sensor kelembapan. Dengan membandingkan alat dari perancangan sistem dengan alat ukur manual seperti termometer ruangan dan alat ukur nutrisi hidroponik yang bisa membaca pH, TDS, dan suhu air. Hasil perekaman data dari sensor akan di proses di Arduino Uno dan di kirim ke database Firebase menggunakan bantuan ESP32 sebagai komunikasi antara mikrokontroler dan database sebagai penampungan data yang akan ditampilkan di website dan dapat dilihat dalam format dekstop maupun mobile. Hasil pengujian dan pengukuran data juga kemudian dianalisis untuk menentukan dan mengambil kesimpulan atas sistem yang telah dirancang.

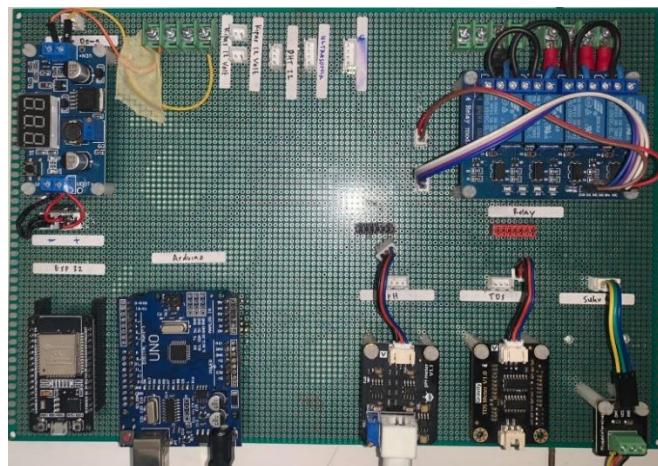
Hasil Rancang Bangun Sistem

Dalam perancangan perangkat keras dan alat hidroponik berbasis IoT dan telah dikembangkan sebuah sistem hidroponik NFT yang dirancang khusus untuk pengujian dan implementasi teknologi internet of things. Struktur utama sistem ini terdiri dari rangka baja ringan yang menopang empat tingkat pipa PVC secara horizontal. dengan setiap tingkat menampung tanaman pakcoy yang tumbuh subur. Implementasi sistem ini menggunakan teknik Nutrient Film Technique (NFT) yang memungkinkan aliran nutrisi yang optimal melalui saluran pipa horizontal yang menciptakan lingkungan pertumbuhan yang efisien dan terkontrol.

Spesifikasi teknis sistem mencakup penggunaan pipa PVC berdiameter 3 inci dengan panjang 2 meter pada setiap tingkat, yang dipilih berdasarkan pertimbangan optimalisasi ruang pertumbuhan akar dan sirkulasi larutan nutrisi. Konfigurasi empat tingkat vertikal yang ditopang oleh struktur baja ringan mengoptimalkan pemanfaatan ruang vertikal, memungkinkan produksi tanaman yang lebih tinggi per unit area dibandingkan dengan sistem konvensional. Sistem NFT yang diimplementasikan memfasilitasi aliran nutrisi mengalir

secara terus menerus yang dirancang pada setiap pipa, memastikan distribusi nutrisi yang merata kepada seluruh tanaman.

Integrasi teknologi internet of things pada sistem ini melibatkan penggunaan sensor-sensor untuk monitoring parameter kritis seperti pH, TDS, suhu air, suhu lingkungan dan kelembapan udara yang terhubung dengan mikrokontroler Arduino. Sistem ini dilengkapi dengan kanopi pelindung di bagian atas untuk memberikan perlindungan dari berbagai elemen cuaca, memastikan stabilitas kondisi pertumbuhan. Tangki nutrisi yang terlihat pada bagian samping sistem berfungsi sebagai reservoir untuk larutan nutrisi yang akan dipompakan secara sirkulasi melalui sistem NFT, menciptakan closed-loop system yang efisien dan sustainable untuk pengujian dan validasi teknologi hidroponik berbasis IoT.



Gambar 1. Sistem Elektronik Alat
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Gambar 1 memperlihatkan implementasi sistem monitoring dan kontrol hidroponik berbasis internet of things yang terpasang pada papan prototipe. Sistem ini merupakan integrasi dari berbagai komponen elektronik yang bekerja secara sinergis untuk melakukan pengawasan parameter kualitas air dan pengendalian distribusi air secara otomatis.

Arsitektur sistem terdiri dari dua unit mikrokontroler yang berfungsi sebagai pengendali utama yaitu Arduino Uno dan ESP32. Arduino Uno berperan sebagai pengendali lokal yang bertanggung jawab terhadap akuisisi data sensor dan kontrol aktuator secara real-time. Sementara itu, ESP32 berfungsi sebagai gateway komunikasi nirkabel yang memungkinkan transmisi data ke sistem monitoring jarak jauh melalui konektivitas Wi-Fi.

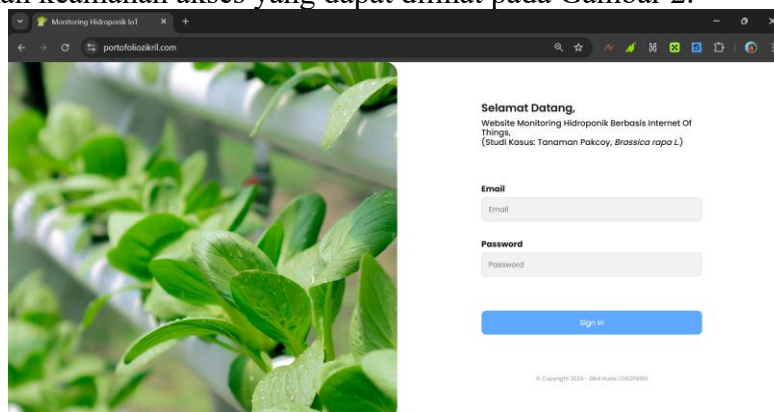
Subsistem sensor pada rangkaian ini terdiri dari tiga jenis sensor utama yang masing-masing memiliki fungsi spesifik dalam monitoring kualitas air. Sensor TDS (Total Dissolved Solids) berfungsi untuk mengukur konsentrasi partikel terlarut dalam air yang mengindikasikan tingkat nutrisi pada air. Sensor pH digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan air, parameter kritis yang menentukan kualitas air untuk berbagai aplikasi. Sensor suhu DS18B20 beroperasi untuk memantau temperatur air dengan akurasi tinggi, menggunakan teknologi one-wire yang memungkinkan pembacaan data digital secara presisi.

Untuk monitoring kondisi lingkungan sekitar sistem, diimplementasikan sensor DHT22 yang mampu mengukur suhu dan kelembapan udara dengan resolusi tinggi. Parameter ini penting untuk memastikan kondisi operasional yang optimal bagi seluruh komponen elektronik dalam sistem.

Subsistem aktuasi menggunakan relay 4 channel yang dikontrol secara elektronik untuk mengoperasikan pompa-pompa distribusi air. Konfigurasi relay ini memungkinkan pengendalian independen terhadap empat unit pompa yang berbeda, sehingga sistem dapat melakukan distribusi nutrisi hidroponik ke tangka untuk menunjang pertumbuhan tanaman yang akan di uji coba. Setiap channel relay dapat menangani beban listrik yang cukup untuk mengoperasikan pompa air dengan aman.

Hasil Rancang Bangun Website

Antarmuka login yang ditampilkan mengimplementasikan sistem otomasi autentikasi berbasis Firebase Authentication sebagai gatekeeper akses ke sistem monitoring hidroponik. Form login dengan email dan password dilengkapi dengan validasi otomatis dan enkripsi data untuk memastikan keamanan akses yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Antarmuka Website Pada Laptop
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Desain interface yang clean dan minimalis pada Gambar 2 memfasilitasi user experience yang optimal. Implementasi responsive design memastikan kompatibilitas multi-platform yang mendukung akses dari berbagai perangkat untuk fleksibilitas monitoring.

Implementasi dashboard menu utama yang berfungsi sebagai central control interface dalam sistem otomasi monitoring hidroponik berbasis Internet of Things. Interface ini menghadirkan dua menu yang terstruktur antara Monitoring Hidroponik dan Controlling Hidroponik yang beroperasi secara real-time 24/7. Desain menu yang simpel namun fungsional ini memungkinkan operator untuk dengan cepat mengakses menu monitoring yang menampilkan visualisasi data sensor secara kontinyu, maupun modul controlling yang menyediakan interface untuk melakukan intervensi operasional terhadap aktuator sistem.

Sistem menu yang terintegrasi dengan Firebase Realtime Database memungkinkan akses cepat dan mudah terhadap data yang dihasilkan oleh sensor-sensor Arduino yang tersebar di seluruh infrastruktur hidroponik. Firebase berfungsi sebagai middleware yang memfasilitasi two-way communication antara perangkat keras mikrokontroler dan website. memungkinkan data sensor seperti pH, TDS, suhu lingkungan, kelembapan, suhu air, dan status pompa untuk ditransmisikan dan disinkronisasi secara real-time tanpa latency yang signifikan.

Menu monitoring memberikan akses terhadap real-time dashboard yang mengintegrasikan semua data mikrokontroler. Sementara itu, menu controlling menyediakan interface untuk remote operation terhadap aktuator dan sistem control, memungkinkan penyesuaian parameter operasional berdasarkan data real-time yang diterima dari Firebase. Kombinasi kedua menu ini menciptakan closed-loop system yang memungkinkan monitoring kontinyu dan respon terhadap perubahan kondisi hidroponik.

Firestore Realtime Database berperan sebagai perantara otomatis yang mengintegrasikan data sensor dari mikrokontroler dengan antarmuka web dalam sistem monitoring hidroponik. Struktur data yang tampak pada konsol Firestore menunjukkan parameter-parameter kritical seperti kelembapan, pH, status pompa, suhu lingkungan, suhu air dan distribusi tangki. Implementasi ini memungkinkan sinkronisasi data secara real-time antara perangkat Arduino dan website.

Kemampuan Firestore dalam menangani data streaming secara asinkron memungkinkan sistem untuk melakukan monitoring kontinyu dan mengeksekusi aksi kontrol secara otomatis. Secara keseluruhan, Firestore berperan sebagai perantara yang menghubungkan tiga komponen utama: (1) perangkat keras Arduino yang mengumpulkan data sensor, (2) database cloud yang menyimpan dan mensinkronkan data secara real-time, dan (3) antarmuka web yang menyediakan visualisasi data dan kontrol sistem. Implementasi ini memungkinkan monitoring dan kontrol jarak jauh terhadap sistem hidroponik, meningkatkan efisiensi dengan teknologi internet of things yang terintegrasi pada hidroponik.

Implementasi antarmuka halaman Controlling pada sistem otomatis hidroponik berbasis Internet of Things (IoT). Halaman ini dirancang untuk memberikan kendali penuh kepada pengguna terhadap komponen aktuator seperti pompa nutrisi A dan B. serta pengatur pH larutan (pH Up dan pH Down). Selain itu, terdapat fitur untuk mengatur target nilai pH dan TDS, yang berfungsi sebagai parameter acuan dalam sistem kontrol tertutup (closed-loop control).

Halaman Monitoring yang merupakan bagian integral dari sistem pengawasan parameter lingkungan dalam sistem hidroponik berbasis internet of things. Antarmuka ini menyajikan data pembacaan sensor secara real-time, termasuk nilai pH, TDS (Total Dissolved Solids), suhu lingkungan, kelembapan, suhu air, dan persentase distribusi air dalam tangki. Setiap parameter ditempatkan dalam komponen visual yang saling terpisah untuk meningkatkan fokus pengguna terhadap masing-masing nilai yang terpantau.

Data yang ditampilkan diperoleh langsung dari sensor yang terhubung dengan mikrokontroler Arduino dan ESP32 yang data-nya akan ditransmisikan ke antarmuka melalui Firestore Realtime Database. Hal ini memungkinkan sistem monitoring berlangsung secara terus-menerus tanpa keterlambatan signifikan (low latency). Desain responsif pada halaman ini memungkinkan akses yang optimal baik pada perangkat desktop maupun mobile.

Pengujian Sensor Suhu DS18B20 sebagai pendeteksi Suhu Air

Pengujian sensor suhu DS18B20 dilakukan untuk mendeteksi tingkat deajat suhu air pada larutan nutrisi hidroponik. Data hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai suhu yang terbaca oleh sensor DS18B20 dibandingkan dengan termometer suhu air manual. Hasil pengujian mengungkapkan nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 1,36% untuk sensor suhu DS18B20. Persentase error individu yang tercatat menunjukkan variabilitas dari 0,71% hingga 3,36%. Akurasi yang relatif tinggi dan konsistensi error yang terjaga pada sensor DS18B20 ini mengindikasikan bahwa sensor tersebut memiliki kinerja yang sangat baik dan dapat diandalkan untuk aplikasi pengukuran suhu air yang mendukung optimasi kondisi pertumbuhan tanaman dalam sistem hidroponik.

Secara visual mengonfirmasi tingkat korelasi yang tinggi antara pembacaan sensor DS18B20 dan termometer suhu air manual, dengan fluktuasi selisih yang minimal. Hal ini menunjukkan bahwa antara sensor dan alat ukur tidak memiliki error yang signifikan, dan diperjelas di Gambar 4.9 dimana MAPE dari sensor yang mana alat ukur sebagai parameter

referensi nilai sensor menunjukkan error hanya berkisar antara 0,71% dan 3,36% yang dapat diartikan sebagai rentang error dan sensor layak pakai. terlihat terjadi lonjakan error yang lumayan menyentuh sekitar 3%. Hal ini diakibatkan berdasarkan asumsi yang terjadi pada lapangan yang dimana terjadi perubahan cuaca yang signifikan yang mengakibatkan salah satu faktor terjadinya lonjakan error yang terjadi pada nilai error.

Pengujian Sensor Suhu DHT 22 sebagai pendeteksi Suhu dan Kelembapan

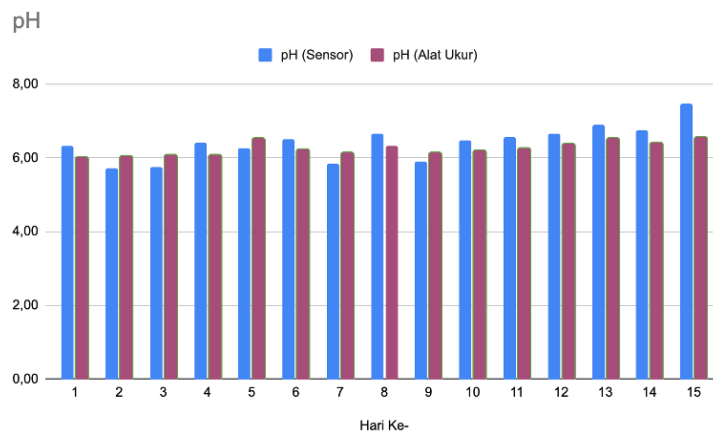
Sensor DHT22 digunakan untuk mendeteksi suhu dan kelembapan lingkungan sekitar, dua faktor yang sangat berpengaruh terhadap transpirasi dan fotosintesis tanaman. Data pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan menunjukkan bahwa pembacaan suhu oleh sensor DHT22 berkisar antara 27.4°C hingga 29.3°C, sedangkan termometer mencatat suhu antara 26.8°C hingga 29.6°C. Untuk kelembapan, sensor DHT22 mencatat nilai dari 76% hingga 91%, sementara alat ukur manual menunjukkan rentang 77% hingga 90%. Selisih suhu berkisar antara 0.3°C hingga 1.5°C, dan selisih kelembapan antara 1% hingga 2%.

Diperoleh nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 2,15% untuk pengukuran suhu dan 1,38% untuk pengukuran kelembapan. Ketika diteliti lebih lanjut, persentase error suhu yang tercatat berkisar dari 1,01% hingga 5,60%, yang mencerminkan variabilitas dalam akurasi pengukuran suhu. Sementara itu, persentase error kelembapan berada dalam rentang yang lebih sempit, yakni dari 1,11% hingga 2,50%. Meskipun terdapat fluktuasi dalam nilai error untuk kedua parameter, secara keseluruhan, sensor DHT22 menunjukkan kemampuan yang memadai untuk memantau secara efektif kondisi suhu dan kelembapan lingkungan, yang merupakan aspek krusial bagi pertumbuhan optimal tanaman hidroponik.

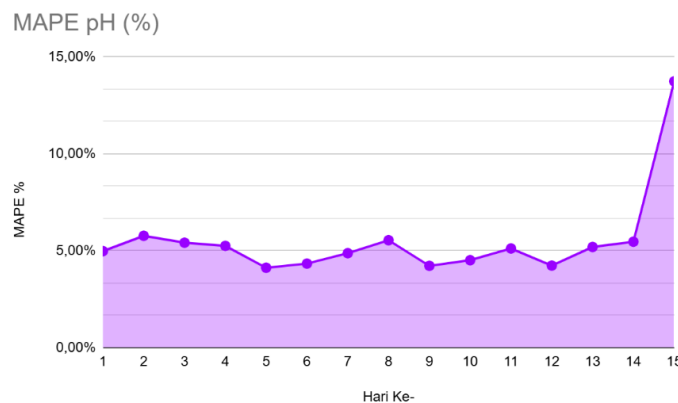
Pengujian Sensor pH sebagai pendeteksi pH air

Evaluasi kinerja sensor pH menjadi salah satu fokus utama, mengingat pH air nutrisi adalah faktor penentu ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Data pengujian komparatif antara sensor pH dan alat ukur pH manual menunjukkan pembacaan pH oleh sensor berkisar antara 5.71 hingga 7.45, sedangkan alat ukur manual mencatat rentang 6.02 hingga 6.55. Selisih pembacaan antara kedua instrumen bervariasi dari 0.26 hingga 0.90.

Nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 5,52%. Persentase error individu yang tercatat mencapai rentang 4,13% hingga 13,74%. Analisis grafik MAPE pH menunjukkan pola error yang relatif stabil pada sebagian besar titik pengujian, namun teridentifikasi adanya lonjakan error yang signifikan pada data ke-15, mencapai 13.74%. Meskipun variasi ini ada, penting untuk dicatat bahwa secara umum, kedua metode pengukuran pH (baik sensor maupun alat ukur manual) menunjukkan hasil yang konsisten dan berada dalam rentang pH yang ideal untuk budidaya hidroponik. Konsistensi ini mengindikasikan bahwa larutan nutrisi dalam sistem mempertahankan kestabilan pH yang diinginkan.



Gambar 3. Grafik perbandingan hasil pengukuran pH dari sensor pH dan alat ukur pH
(Sumber: Dokumen Pribadi)



Gambar 4. Grafik MAPE dari hasil pengukuran pH
(Sumber: Dokumen Pribadi)

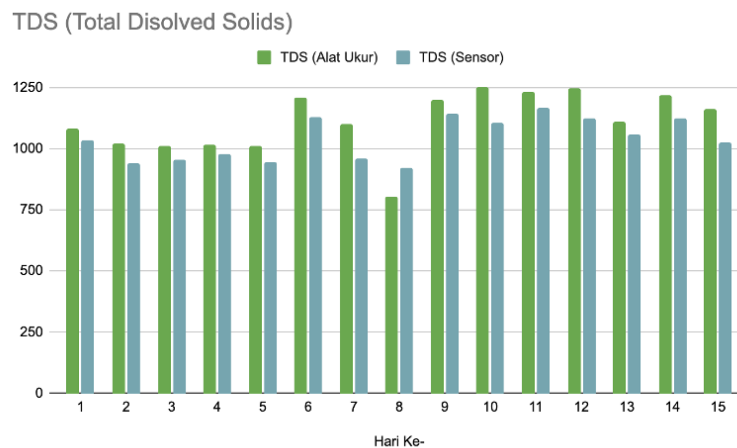
Gambar 3 menunjukkan bahwa MAPE dari pH menunjukkan angka yang stabil dan di percobaan ke-15 mengalami kelonjakan lebih dari 2 kali dari rata-rata nilai MAPE yang ada, hal ini terjadi karena pada kondisi lapangan terjadi cuaca yang tidak bisa di prediksi yang mengakibatkan sensor terkena air dan larutan nutrisi hidroponik tercampur dengan air hujan, ini salah satu faktor yang mengakibatkan nilai MAPE pada beberapa percobaan kedepannya dan di Gambar 4 menunjukkan tidak stabil.

Pengujian Sensor TDS sebagai pendeteksi TDS (Total Dissolved Solids)

Pengujian sensor Total Dissolved Solids (TDS) dilakukan untuk menilai akurasi dalam mengukur konsentrasi nutrisi terlarut dalam air, sebuah parameter kunci untuk memastikan asupan hara yang cukup bagi tanaman. Data pengujian menunjukkan bahwa pembacaan TDS oleh sensor berkisar antara 920 ppm hingga 1167 ppm, sementara alat ukur manual mencatat rentang 804 ppm hingga 1250 ppm. Selisih pembacaan antara kedua instrumen bervariasi cukup lebar, mulai dari 38 ppm hingga 146 ppm.

Perbandingan yang lebih mendalam antara data sensor dan alat ukur manual mengungkapkan bahwa sensor cenderung mencatat fluktuasi TDS yang lebih kecil, namun

menunjukkan variasi distribusi air yang lebih besar. Kontrasnya, alat ukur manual memperlihatkan nilai TDS yang cenderung lebih tinggi dengan distribusi air yang lebih stabil. Ini mengindikasikan adanya perbedaan dalam sensitivitas dan metode pengukuran antara kedua instrumen, meskipun keduanya memberikan indikasi umum mengenai konsentrasi TDS. Nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 7,82%. Persentase error individu berkisar antara 3,73% dan 14,43%. Visualisasi pada grafik menunjukkan fluktuasi yang cukup signifikan dalam nilai selisih dan persentase error sepanjang periode pengujian, dengan lonjakan yang terlihat jelas pada data ke-7 (12.73%), ke-8 (14.43%), dan ke-10 (11.68%), serta ke-15 (11.95%).



Gambar 5. Grafik perbandingan hasil pengukuran TDS dari sensor TDS dan alat ukur TDS
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Gambar 5 menunjukkan selisih antara pengukuran *Total Dissolved Solids* (TDS) dari sensor TDS maupun dari alat ukur TDS yang mana ditunjukkan nilai MAPE bergerak fluktuatif dimana adanya *error* yang ditunjukkan pada percobaan tersebut jauhnya gap antara alat ukur TDS sebagai parameter nilai TDS sensor.

Pengujian Pompa sebagai aktuator dari Sistem Hidroponik berbasis Internet of Things

Tabel 1 menyajikan hasil pengujian fungsionalitas relay pompa yang sebagai aktuator dalam sistem. Seluruh 10 percobaan untuk setiap pompa (Nutrisi A, Nutrisi B, pH Up, dan pH Down) menunjukkan tingkat keberhasilan 100% dalam aktivasi. Hasil ini secara definitif mengonfirmasi keandalan subsistem kontrol berbasis relay dalam menerjemahkan perintah digital dari mikrokontroler menjadi aksi fisik yang dengan tepat.

Tabel 1. Hasil Pengujian Relay Pompa sebagai pengisian nutrisi hidroponik.

No.	Jenis Pengujian	Hasil yang diinginkan	Jumlah			Persentase Keberhasilan (%)
			Percobaan	Berhasil	Gagal	
1.	Pompa 1 sebagai Nutrisi A	Pompa aktif ketika menerima perintah dari <i>website</i> dan dapat dikontrol melalui <i>website</i>	10	10	0	100%
2.	Pompa 2 sebagai Nutrisi B	Pompa aktif ketika menerima perintah dari <i>website</i> dan dapat dikontrol melalui <i>website</i>	10	10	0	100%

No.	Jenis Pengujian	Hasil yang diinginkan	Jumlah			Persentase Keberhasilan (%)
			Percobaan	Berhasil	Gagal	
3.	Pompa 3 sebagai pH <i>up</i>	Pompa aktif ketika menerima perintah dari <i>website</i> dan dapat dikontrol melalui <i>website</i>	10	10	0	100%
4.	Pompa 4 sebagai pH <i>down</i>	Pompa aktif ketika menerima perintah dari <i>website</i> dan dapat dikontrol melalui <i>website</i>	10	10	0	100%

Hasil Uji Coba Perekaman Data Sistem Monitoring Hidroponik Pakcoy berbasis Internet of Things

Analisis data perekaman sistem secara keseluruhan, yang melibatkan sensor suhu air DS18B20, sensor DHT22 untuk suhu lingkungan dan kelembapan, sensor pH, dan sensor TDS, mengungkapkan dinamika kompleks dalam pemantauan lingkungan hidroponik. Perbandingan antara data yang dihasilkan oleh sensor otomatis dan alat ukur manual menunjukkan adanya perbedaan signifikan dalam hal detail dan dinamika data yang terekam. Sensor otomatis, sebagaimana teramati, mampu memberikan rentang data yang lebih luas, merefleksikan kapabilitasnya dalam mendeteksi variasi lingkungan secara real-time serta sensitivitasnya yang lebih tinggi terhadap perubahan kecil. Hal ini secara spesifik ditunjukkan oleh rentang kelembapan yang lebih lebar serta variasi suhu dan distribusi air yang lebih dinamis dari data sensor otomatis.

data yang diperoleh dari alat ukur manual cenderung menunjukkan tingkat stabilitas yang lebih besar dan fluktuasi yang lebih minim. Kondisi ini kemungkinan besar disebabkan oleh inherennya keterbatasan dalam proses sampling manual serta resolusi alat ukur manual yang mungkin tidak setinggi sensor otomatis. Meskipun demikian, data manual memegang peranan yang sangat krusial dan tak tergantikan dalam proses verifikasi dan kalibrasi sistem sensor. Peran ini sangat penting terutama untuk memastikan bahwa data real-time yang dikumpulkan oleh sistem secara akurat dan valid merepresentasikan kondisi lingkungan yang sesungguhnya.

analisis komparatif antara data real-time yang diakuisisi oleh sensor otomatis dan hasil pengukuran manual, menyoroti karakteristik unik dari masing-masing metode dalam merepresentasikan kondisi lingkungan. Sensor otomatis, melalui kapabilitas sampling berfrekuensi tinggi, menonjol dalam kemampuannya menangkap spektrum data yang lebih dinamis dan luas, sekaligus menunjukkan sensitivitas superior terhadap perubahan mikroklimat. Indikasi ini terlihat jelas pada variasi kelembapan dan fluktuasi suhu serta distribusi air yang lebih ekspresif yang terekam. Sebaliknya, data manual yang cenderung lebih stabil, memberikan representasi statis dari parameter lingkungan, dengan keterbatasan yang inheren pada frekuensi sampling dan resolusi alat. Meskipun demikian, data manual memiliki peran fundamental sebagai referensi dalam proses verifikasi dan kalibrasi sensor otomatis. Melalui validasi silang yang cermat, data manual memungkinkan penyesuaian offset atau gain pada pembacaan sensor otomatis, sehingga memastikan akurasi dan keandalan data yang terus-menerus. Integrasi strategis kedua metode ini tidak hanya memvalidasi sistem, tetapi juga meningkatkan presisi keputusan kontrol otomatis.

Perbedaan yang paling mencolok antara kedua metode pengukuran (sensor otomatis dan alat ukur manual) teramati pada nilai TDS dan distribusi air. Secara spesifik, data sensor

mencatat fluktuasi TDS yang lebih kecil namun menunjukkan variasi distribusi air yang lebih besar. Kontrasnya, alat ukur manual cenderung menghasilkan nilai TDS yang lebih tinggi dengan distribusi air yang lebih stabil. Meskipun terdapat perbedaan dalam detail data, penting untuk dicatat bahwa kedua metode pengukuran pH menunjukkan hasil yang konsisten dan berada dalam rentang ideal, yang mengindikasikan stabilitas larutan nutrisi dalam sistem.

Perbandingan antara data sensor otomatis dan alat ukur manual menunjukkan adanya perbedaan dalam hal detail dan dinamika data yang dihasilkan. Sensor otomatis memberikan rentang data yang lebih lebar, mencerminkan kemampuannya mendeteksi variasi lingkungan secara real-time dan lebih sensitif terhadap perubahan kecil. Hal ini terlihat dari rentang kelembapan yang lebih luas serta variasi suhu dan distribusi yang lebih dinamis.

Sementara itu, data dari alat ukur manual menunjukkan kestabilan yang lebih besar, yang kemungkinan disebabkan oleh keterbatasan sampling manual serta resolusi alat yang tidak setinggi sensor otomatis. Meski demikian, data manual tetap sangat penting dalam proses verifikasi dan kalibrasi sistem sensor, terutama untuk memastikan bahwa data real-time yang dikumpulkan mencerminkan kondisi nyata.

Dari sisi pH, kedua metode menunjukkan hasil yang konsisten dan berada dalam rentang ideal, menunjukkan kestabilan larutan nutrisi dalam sistem. Perbedaan paling mencolok terlihat pada nilai TDS dan distribusi air. Data sensor mencatat fluktuasi TDS lebih besar namun memiliki nilai distribusi yang lebih bervariasi, sementara alat ukur manual menunjukkan TDS yang cenderung lebih tinggi dengan distribusi air yang lebih stabil.

Tabel 2. Nilai error pengukuran sensor pada hidroponik berbasis IoT

Kualitas Sensor	Nilai MAPE (%)	Kemampuan Model Alat
Suhu Air	1,36 %	Sangat Baik
pH	5,52 %	Sangat Baik
TDS	7,82 %	Sangat Baik
Suhu Lingkungan	2,15%	Sangat Baik
Kelembapan	1,38%	Sangat Baik

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai MAPE dari setiap sensor mempunyai kemampuan pembacaan yang sangat baik dikarenakan nilai error dengan nilai yang sangat kecil untuk sensor suhu air, suhu lingkungan, dan kelembapan. Sedangkan pH dan TDS walaupun dalam kategori MAPE nilai pembacaan sangat baik dikarenakan nilai error yang kurang dari 10% tapi dalam penelitian ini TDS dan pH adalah nilai yang sangat penting bagi pertumbuhan dalam sistem hidroponik berbasis internet of things.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan mengimplementasikan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) untuk tanaman pakcoy, yang berfungsi dengan baik dalam memantau parameter penting seperti suhu air, pH, TDS, suhu udara, dan kelembapan. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi sensor yang dapat diterima, dengan rentang akurasi antara 2% hingga 9,17%, yang memungkinkan pemeliharaan kondisi hidroponik dalam rentang optimal secara konsisten. Sistem ini juga memungkinkan pemantauan jarak jauh, mengurangi ketergantungan pada pengecekan manual, serta meningkatkan efisiensi operasional bagi petani hidroponik. Meskipun pengukuran langsung terhadap hasil panen tidak menjadi fokus penelitian ini, sistem dirancang untuk menjaga kondisi nutrisi yang optimal berdasarkan referensi ilmiah, yang secara tidak langsung mendukung stabilitas pertumbuhan tanaman dan meningkatkan produktivitasnya. Kontribusi penelitian ini di masa depan adalah

memungkinkan penerapan sistem serupa pada berbagai jenis tanaman lainnya, serta pengembangan teknologi yang lebih canggih untuk pemantauan lebih akurat dan responsif terhadap perubahan parameter. Penelitian ini juga membuka peluang untuk integrasi sistem otomatis dalam pertanian berkelanjutan, meningkatkan efisiensi pertanian perkotaan dengan menggunakan teknologi modern.

REFERENSI

- Agustina, H., Haibir, M. P., & Prima, F. H. (2024). *Cultivation of Caisim Mustard (Brassica juncea L.) in the NFT (Nutrient Film Technique) Hydroponic System*. *Salaga Journal*, 2(1), 10–21. <https://doi.org/10.70124/salaga.v2i1.1364>
- Aryanti, V. Y. (2025). *Pengaruh substitusi nutrisi ab mix menggunakan poc urin kelinci terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman pakcoy (Brassica rapa subsp. chinensis) secara hidroponik sistem substrat*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Barus, S. P., & Seo, J. I. (2022). *Temperature and humidity monitoring in hydroponic cultivation based on Internet of Things: Dataset development for smart agriculture*. *Jurnal Sisfokom (Sistem Informasi dan Komputer)*. <https://jurnal.atmaluhur.ac.id>
- Fauzi, D. A., Isnaeni, S., & Nurhidayah, S. (2024). *The influence of nutrient concentration and hydroponic growing media on the growth and yield of pagoda mustard greens (Brassica narinosa L.)*. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 52(1), 122–129. <https://doi.org/10.24831/jai.v52i1.50604>
- Frontiers in Plant Science. (2024). *Advancements and future perspectives in nutrient film technique hydroponic system: A comprehensive review and bibliometric analysis*. *Frontiers in Plant Science*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1504792>
- Hadi Putra, A. Y., & Pambudi, W. S. (2022). *Sistem kontrol otomatis pH larutan nutrisi tanaman bayam pada hidroponik NFT (Nutrient Film Technique)*. *Jurnal Mikrotek*.
- Helmy, H., Nursyahid, A., Setyawan, T. A., & Hasan, A. (2022). *Nutrient Film Technique (NFT) hydroponic monitoring system*. *JAICT (Politeknik Negeri Semarang)*. <https://jurnal.polines.ac.id>
- IntechOpen. (2023). *Hydroponic production systems: Impact on nutritional status and bioactive compounds of fresh vegetables*. In *Soilless cultivation: Precise nutrient provision and growth environment regulation under different substrates*.
- Kaswar, A. B., Mahande, R. D., & Malago, J. D. (2023). *A new model for hydroponic lettuce nutrition adaptive control system based on fuzzy logic Sugeno method using ESP32*. *Jurnal Teknik Informatika (JUTIF)*. <https://jutif.if.unsoed.ac.id>
- Listyowati, E. A., Kamilah, A., Budiono, H., & Lutfiadi, R. (2023). *Urban farming development strategy of hydroponic vegetables in Bekasi City*. *AGRITEPA: Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian*, 10(2), 469–486. <https://doi.org/10.37676/agritepa.v10i2.4932>
- Muttaqin, A. Z. (2025). *Pengembangan Sistem Monitoring dan Kontrol Nutrisi Hidroponik Berbasis Esp32 di Greenhouse Taman Herbal Lawu dengan Fuzzy Logic dan Protokol MQTT*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Niu, G., & Masabni, J. (2022). *Plant factory basics, applications and advances: The chapter on Nutrient Film Technique system*. *ScienceDirect (Elsevier)*.
- Nuryudin, A. (2024). *Sistem Monitoring Dan Kontrol Nutrisi Tanaman di Hidroponik NFT Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani*. *Jurnal Teknik Elektro*, 17(1), 44–50.
- Perumbilavil, S., Antony, M. M., & Matham, M. V. (2024). *A real-time on-site precision nutrient monitoring system for hydroponic cultivation utilizing LIBS*. *Chemical and*

- Biological Technologies in Agriculture*, 11, Article 111. <https://chembioagro.springeropen.com/articles/10.1186/s40538-024-00641-6>
- Putri Yeni Aisyah, P., Iubilaem, P. I. J. A. S., Qurrotu Ainin, & Monica Intan Wijayanti. (2024). *Control system for pakcoy hydroponic cultivation with nutrient film technique based on Internet of Things*. *IPTEK: The Journal of Engineering*. <https://iptek.its.ac.id>
- Radita, F., Siskandar, R., & Chairunisa, D. Y. (2023). *The quality automation system and monitoring of bok choy (Brassica chinensis L.) in hydroponic greenhouses based on fuzzy logic using Arduino Uno*. *AgriFarm: Jurnal Ilmu Pertanian*, 12(1), 18–31. <https://journal.uwgm.ac.id>
- Rafdhi, A. A., Nandiyanto, A. B. D., Hirawan, D., Soegoto, E. S., Luckyardi, S., & Mega, R. U. (2021). *Smart monitoring of nutrient content, pH condition and temperature in vegetable leaf grown through Deep Flow Technique*. *Moroccan Journal of Chemistry*, 9(4). <https://revues.imist.ma>
- Rancang Bangun Sistem Pemantauan Pengendali Suhu dan Nutrisi Berbasis IoT pada Hidroponik NFT (Nutrient Film Technique) Tanaman Pakcoy (Brassica Rapa Chinensis). (2025). *Jurnal BETA (Biosistem dan Teknik Pertanian)*. Universitas Udayana.
- Rasyidi, G., Ariyanto, K. D., & Arizal. (2023). *House terrace utilization as a hydroponic cultivation (TJSL PT Pertamina Patra Niaga Fuel Terminal Gorontalo)*. *International Journal of Multidisciplinary Research and Analysis*, 6(7), 3169–3173. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8175394>
- Rauf, H., & Ferrarezi, R. S. (2025). *Real-time nutrient management in hydroponic controlled environment agriculture systems through plant sap analysis*. *Horticulturae*, 11(10), 1174. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11101174>
- Ristiyan, S., Fanata, W. I. D., Saputra, T. W., Purnamasari, I., Dewanti, P., & Taufik, R. F. (2023). *The effect of nutritioning interval on automatic drip hydroponic system on growth and production of three varieties of lettuce (Lactuca sativa L.)*. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*.
- Safii, I., & Iksan. (2020). *Kombinasi nutrisi hidroponik dan komposisi media tanam terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman selada merah (Lactuca sativa var. Lollorosa) dengan sistem hidroponik sumbu*. Universitas Negeri Medan.
- Saputra, B. H. (2022). *Control of light and nutrition supply in the hydroponics of mustard pakcoy plants with the NFT system*. *Electro Luceat*. Universitas Islam Kadiri.
- Siti Mashumah, & Pramartaningthas, E. K. (2023). *Sistem monitoring tanaman pakcoy hidroponik nutrient film technique (NFT) berbasis Internet of Things*. *Multitek Indonesia: Jurnal Ilmiah*, 16(1). <https://journal.umpo.ac.id>
- Sumiati, S., & Surur, M. A. (2021). *Determination of optimization of nutritional deficiencies in plant physiology practicum in hydroponic laboratories (axis and no axis system)*. *BIOEDUSCIENCE*, 5(3), 205–210. <https://doi.org/10.22236/j.bes/537772>
- Tazri, M. I. (2023). *Literatur review: Penggunaan sistem nutrient film technique (NFT) pada tanaman pakcoy (Brassica rapa L.) yang dilakukan secara budidaya hidroponik*. *Prosiding Seminar Nasional Biologi*, 4.
- TDS Sensor Based Automatic Nutrient Feeding System for Telegram-Assisted NFT Pakcoy Hydroponic System. (2024). *Modelling, Measurement & Control Engineering*. <https://iieta.org/journals/mmep/paper/10.18280/mmep.111121>
- Toriq, M. R. A., Puspitawati, R., & Oxi, Y. (2023). *Combination of hydroponic natural nutrient solution effect on kale plant growth (Ipomoea reptans) using wick system*. *LenteraBio*:

- Berkala Ilmiah Biologi*, 14(1), 130–137.
<https://doi.org/10.26740/lenterabio.v14n1.p130-137>
- Universitas Islam Malang; Known Nature. (2024). *Metode hidroponik secara DFT (Deep Flow Technique) dan NFT (Nutrient Film Technique) pada beberapa media tanam terhadap pertumbuhan tanaman bayam merah (Alternanthera amoena Voss)*. *Jurnal Sains Alami*, 3(2).
- Wulandari, R., Rivansuna Fifintari, F., & Buddhisatyarini, T. (2023). *Empowerment of urban communities in utilizing small courtyards with hydroponic technology*. *Community Empowerment*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
<https://doi.org/10.31603/ce.6243>