

Efektivitas dalam Memantau dan Mengontrol Sistem Hidroponik Apung pada Pertumbuhan Pakcoy Berbasis Sensor TDS Arduino Uno R3

Effectiveness in monitoring and controlling Floating Hydroponic Systems on Tomato Growth Based on Arduino Uno R3 TDS Sensor

Puspitahati*, Fandri Bayu Kelana, Nurul Izzah Aulia

Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya, Palembang 30862, Indonesia
*E-mail Corresponding Author: puspitahati@fp.unsri.ac.id

Diterima: 15 April 2025; Disetujui: 27 April 2025

ABSTRAK

Keberhasilan sistem hidroponik apung tergantung dari pengelolaan kadar nutrisi larutan. Saat ini pemantauan dan pengaturan kadar nutrisi masih secara konvensional yang memerlukan waktu dan tenaga. Oleh karena itu diperlukan sistem otomatis yang mampu mengontrol konsentrasi nutrisi secara *real-time* dan akurat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memantau dan mengontrol kadar nutrisi dan mengetahui efisiensi sensor TDS pada alat kontrol otomatis mikrokontroler Arduino UNO R3. Penelitian ini dilakukan mulai Oktober 2023 hingga selesai di Rumah Tanaman Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya. Metodologi mencakup desain fungsional dan struktural, sistem pemantauan dan kontrol berbasis mikrokontroler, serta pengujian demonstrasi perangkat kontrol nutrisi hidroponik otomatis, dievaluasi berdasarkan parameter yaitu akurasi, presisi, dan persentase kesalahan. Penelitian ini menggunakan konsentrasi nutrisi 500 ppm selama minggu ke-2 dan 600 ppm selama minggu ke-3, menggunakan nutrisi *AB Mix* setiap jam selama 12 jam per hari diukur menggunakan Arduino UNO R3 dan TDS meter. Pada pengukuran konsentrasi 2 MST sebesar 554 ppm, pada 3 MST meningkat menjadi 657 ppm. Tingkat akurasi menunjukkan performa cukup baik dengan rata-rata sebesar 89% pada 2 MST dan meningkat menjadi 91% pada 3 MST. Nilai Presisi meningkat dari 2 MST sebesar 13,58% menjadi 7,81% pada 3 MST, menunjukkan peningkatan konsistensi kinerja alat. Persentase kesalahan dalam pengukuran nutrisi rata-rata sebesar 11% pada 2 MST menurun menjadi 9,7% pada 3 MST. Hasil tersebut menunjukkan bahwa meskipun alat kontrol otomatis belum mencapai akurasi dan presisi, namun nilai kesalahan pengukuran berada dalam rentang 10-11% masih dapat ditoleransi dalam aplikasi hidroponik di lapangan, sehingga menjadikan sistem ini sebagai teknologi yang aplikatif dan berkontribusi dalam pengembangan *smart farming*. Kesimpulan penelitian ini menunjukkan adanya korelasi positif antara sensor TDS Mikrokontroler Arduino Uno R3 dengan TDS meter, dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,56 pada 3 MST (Minggu Setelah Tanam) pada pertumbuhan tanaman pakcoy, yang mengindikasikan hubungan linier dengan *trend* berbanding lurus.

Kata kunci: *Arduino UNO R3; hidroponik apung; mikrokontroler; nutrisi AB Mix; TDS*

ABSTRACT

The success of a floating hydroponic system depends on the management of the solution's nutrient content. Monitoring and regulating nutrient levels is still conventional, which takes time and effort. Therefore, an automated system is needed that can control nutrient concentrations accurately and in real-time. The purpose of this study is to monitor and control nutrient levels and determine the efficiency of the TDS sensor on the Arduino UNO R3 microcontroller automatic control device. This research was carried out from October 2023 until it was completed at the Plant House of the Department of Agricultural Technology, Faculty of Agriculture, Sriwijaya University. The methodology includes functional and structural design, microcontroller-based monitoring and control systems, as well as demonstration testing of automatic hydroponic nutrient control devices, evaluated based on parameters, accuracy, precision, and error percentage. This study used a nutrient concentration of 500 ppm during week 2 and 600 ppm during week 3, using AB Mix nutrition every hour for 12 hours per day, measured using Arduino UNO R3 and a TDS meter. At the measurement of the concentration of 2 WAP of 554 ppm, at 3 WAP, it increased to 657 ppm. The accuracy level showed quite good performance with an average of 89% at 2 WAP and increased to 91% at 3 WAP. The Precision value increased from 2 WAP by 13.58% to 7.81% at 3 WAP, indicating an improvement in the consistency of tool performance. The average error rate in nutrient measurement of 11% on 2 WAPs decreased to 9.7% on 3 WAPs. The results showed that although the automatic control device has not yet achieved accuracy and precision, the measurement error value was in the range of 10-11%, which was still tolerable in hydroponic applications in the field, thus making this system an applicable technology and contributing to the development of smart farming. The conclusion of this study showed a positive correlation between the Arduino Uno R3 Microcontroller TDS sensor and the TDS meter, with a correlation coefficient value of 0.56 at 3 WAP (Weeks After Planting) on the growth of pak choy plants, which indicates a linear relationship with a directly proportional trend.

Keywords: *Arduino UNO R3; floating hydroponics; microcontroller; AB Mix nutrition; TDS*

PENDAHULUAN

Kebutuhan yang semakin mendesak untuk menerapkan teknologi otomasi dan (IoT) dalam sistem produksi pangan, khususnya pada skema pertanian perkotaan (*urban farming*) yang memiliki keterbatasan lahan, sumber daya air, serta tenaga kerja. Hidroponik apung telah terbukti efisien dalam penggunaan ruang dan air. Hidroponik apung adalah salah satu inovasi *urban farming* yang mengadopsi teknik pertanian presisi untuk mengurangi dampak perubahan iklim (Pantanella et al., 2010). Metode ini memanfaatkan air sebagai media tanam tanpa tanah serta mengoptimalkan penggunaan ruang dan air (Ardiani & Noegroho, 2020). Berdasarkan hasil pemantauan dalam pertanian hidroponik membuktikan bahwa pemantauan dan pengendalian variabel lingkungan kritis seperti sensor pH memiliki hasil rata-rata 5,01, sensor suhu memiliki hasil rata-rata 29,5°C, kelembaban udara memiliki hasil rata-rata 71,2% (Parenreng et al., 2024) dan suhu larutan nutrisi menjadi aspek krusial yang dapat dilakukan dengan sensor berbasis IoT (Yanes et al., 2020). Penelitian oleh Lim et al. (2024) berbasis Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) mampu mendeteksi unsur makro dengan hasil konsentrasi 1–200 ppm untuk K, 1–100 ppm untuk Na, dan 200–1000 ppm untuk Ca dan Mg, dengan koefisien determinasi (R^2) mendekati 1.0 Tingkat kesalahan relatif berkisar antara 6–13%.

Lestari et al. (2024) menemukan bahwa penerapan sistem berbasis Arduino dalam hidroponik dapat meningkatkan akurasi pemantauan serta menjaga stabilitas kondisi lingkungan tanaman. Otomatisasi ini tidak hanya mengurangi kebutuhan tenaga kerja, tetapi juga meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya seperti air dan nutrisi. Dengan dukungan teknologi IoT (*Internet of Things*), data yang dikumpulkan dapat diakses melalui aplikasi *smartphone*, memungkinkan petani untuk memantau kondisi tanaman secara *real-time* dari mana saja.

Penelitian yang dilakukan oleh Purwanto et al. (2024) menunjukkan bahwa integrasi sensor lingkungan dalam sistem hidroponik dapat meningkatkan efisiensi distribusi nutrisi, memastikan tanaman menerima zat gizi yang diperlukan pada waktu yang tepat. Hal ini menjadi krusial karena kesalahan dalam pemberian nutrisi atau ketidakseimbangan pH dapat berdampak pada kualitas tanaman secara keseluruhan.

Mikrokontroler Arduino Uno R3 berperan dalam mengontrol aliran nutrisi, ketinggian air, dan kondisi lingkungan, sehingga menghemat waktu serta tenaga kerja, sekaligus meningkatkan hasil produksi secara optimal (Lenni et al., 2020). Selain itu, perangkat ini mampu merekam data sensor ke kartu *microSD* untuk pemantauan secara *real-time* (Ambrosio et al., 2019; Montoya et al., 2017). Integrasi dengan platform IoT serta modul *wifi* memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh, memberikan kemudahan serta fleksibilitas bagi pengguna (Sihombing et al., 2018; Shariff et al., 2021; Crisnapati et al., 2017).

Arduino Uno R3 adalah mikrokontroler berbasis *wifi* yang dikembangkan menggunakan ESP8266, yang unggul dalam aplikasi *Internet of Things* (IoT) (Michael et al., 2021). Keunggulan ESP8266 terletak pada kemampuannya mencatat data secara *real-time* dan mengirimkan informasi ke *platform cloud* seperti *ThingSpeak* melalui internet (Suseno et al., 2020). Mikrokontroler ini telah banyak digunakan dalam berbagai sistem pemantauan, termasuk hidroponik, untuk mengumpulkan dan mengirimkan data mengenai parameter seperti suhu, pH, dan kadar nutrisi. Dengan teknologi ini, sistem dapat secara otomatis menyesuaikan kadar nutrisi serta kondisi lingkungan, meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan

hidroponik guna memastikan pertumbuhan tanaman yang optimal.

Arduino Uno R3 yang dikombinasikan dengan ESP8266 dapat dihubungkan dengan berbagai sensor, seperti sensor TDS, pH, ketinggian air, suhu, dan ultrasonik, guna memantau kondisi nutrisi dan lingkungan dalam sistem hidroponik. Sistem ini juga mampu mengotomatiskan pengendalian pompa air serta dispenser nutrisi berdasarkan data yang diperoleh dari sensor. Misalnya, jika kadar TDS atau EC berada di bawah batas yang ditetapkan, sistem akan mengaktifkan pompa untuk menjaga keseimbangan nutrisi tetap optimal.

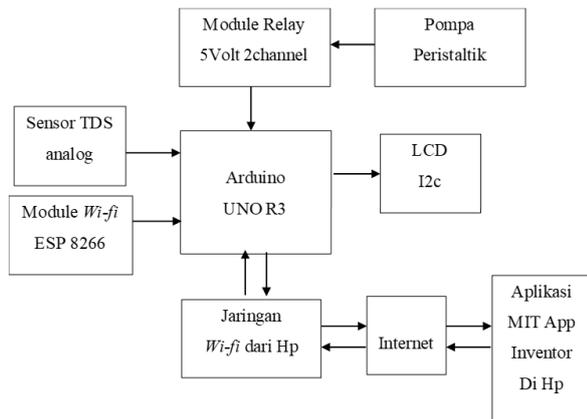
Arduino UNO R3 *wifi* ESP8266 mampu mengirimkan notifikasi dan peringatan secara *real-time* ketika parameter lingkungan menyimpang dari kondisi optimal, memungkinkan pengguna untuk segera melakukan intervensi yang tepat. Dengan mengotomatiskan proses pemantauan dan pengendalian, sistem ini mengurangi kebutuhan intervensi manual, menekan biaya operasional, serta menghemat waktu dan sumber daya. Arduino UNO R3 yang dilengkapi ESP8266 menjadi solusi efektif dalam menjaga keseimbangan nutrisi pada sistem hidroponik rakit apung. Inovasi ini terbukti meningkatkan produktivitas dengan investasi yang minimal, sehingga sangat cocok diterapkan dalam *urban farming* (Tata et al., 2022; Nikose et al., 2023; Hanafi et al., 2023; Sari et al., 2024).

Keberhasilan hidroponik apung terletak pada pengaturan kadar nutrisi dan parameter kimia air (pH, EC, suhu, DO). Penelitian pada Rusman et al. (2023) menunjukkan selisih antara pembacaan sensor TDS dan TDS meter berkisar antara 0,05(4,9%) hingga 0,36 (36,3%). Sedangkan Anwar et al. (2024) menghasilkan pengukuran sensor pH probe dengan sensor pH meter yaitu mulai dari 0,1-0,9 dan untuk errornya memiliki nilai tertinggi yaitu 3.06% termasuk rendah.

Belum banyak ditemukan riset menilai efektivitas sensor nutrisi dengan akurasi, tingkat kesalahan dan presisi alat sensor TDS otomatis berbasis Arduino UNO R3 pada hidroponik apung dengan Arduino UNO R3 ESP8266. Hasil penelitian Kuncoro et al. (2024) dengan Arduino UNO R3 berbasis Atmega328 mendapatkan akurasi sensor pH rata-rata sebesar 95,28 % dan pengujian presisi sensor pH didapatkan nilai rata-rata presisi sebesar 98,48 %.

Menurut penelitian Pantanella et al., 2010; Yanes et al., 2020; Suseno et al., 2020; Michael et al., 2021 dapat disimpulkan bahwa berbagai studi sebelumnya telah mengembangkan sistem hidroponik berbasis IoT menggunakan Arduino dan ESP8266. Namun, Sebagian besar studi tersebut fokus pada perancangan sistem dan fungsi kerja, tanpa melakukan uji kuantitatif terhadap akurasi sensor, efektivitas kendali dan validasi hasil pembacaan alat. Keterbaruan dari penelitian ini mengevaluasi kinerja alat secara kuantitatif yaitu korelasi antara sensor TDS Arduino UNO R3 dan TDS meter, akurasi, presisi pengukuran larutan nutrisi dan evaluasi nilai error serta toleransi dalam konteks agronomi. Sistem diuji langsung dalam lingkungan nyata dan Arduino UNO R3 tidak hanya memantau tetapi mengontrol nutrisi berdasarkan dari sensor TDS yang bekerja dengan sistem loop tertutup.

Berdasarkan hal tersebut maka diperlukan penelitian ini untuk mengetahui efektivitas alat dalam memantau dan mengontrol kadar nutrisi pada sistem hidroponik apung berbasis sensor TDS Arduino UNO R3 dan mengetahui kinerja sistem kontrol otomatis berbasis mikrokontroler Arduino UNO R3.



Gambar 1. Rangkaian rancangan sistem Arduino UNO R3

METODOLOGI

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah 1) Arduino UNO R3, 2) Sensor *Gravity Analog* TDS (Sensor TDS), 3) LCD Display i2c, 5) Kabel USB, 6) *Adaptor 12V*, 7) Kabel *Jumper*, 8) Kamera *Handphone*, 9) Papan *Project* 10) Pompa Peristaltik, 11) *Relay Module 2Ch 5V*, 12) *Module ESP wifi 8266*, 13) Jaringan *wifi*, 14) Aplikasi *APP Inventor*, 15) Instalasi Hidroponik Apung, 16) Laptop 17) Bit pakcoy
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1) Air nutrisi hidroponik (*AB Mix*)

Prosedur Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif dengan melakukan pengujian unjuk kerja terhadap Sensor TDS Arduino UNO R3 berdasarkan parameter berupa akurasi, persen kesalahan, dan presisi.

Penelitian ini dilakukan di Rumah Tanaman Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya. Pada bulan Oktober 2023 sampai dengan selesai.

Prosedur Penelitian dilakukan dengan menjalankan beberapa prosedur berikut:

Perancangan Sistem

Perancangan sistem Arduino UNO R3 *Board* digunakan dengan memberi daya listrik dengan menggunakan *adaptor 12V*. Sensor *Gravity Analog* TDS digunakan sebagai input ke dalam Arduino UNO R3 dari nilai hasil pembacaan dari sensor yang kemudian diolah dengan perintah pada pembuatan program, dengan tujuan mendapatkan nilai TDS sesuai dengan bacaan pada alat TDS meter yang menjadi alat tolak ukur dalam penentuan nilai TDS dalam nutrisi dan akan ditambahkan nutrisi melalui pompa peristaltik secara otomatis untuk mendapat kadar nutrisi yang dibutuhkan. *Output* yang dihasilkan akan dikirim ke aplikasi *APP Inventor* dengan memanfaatkan teknologi IoT dan ditampilkan di *LCD i2c* dapat mengontrol nilai nutrisi. Rangkaian rancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 1.

Perancangan Arduino UNO R3

Rangkaian mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino UNO R3 yang merupakan mikrokontroler tidak memiliki fasilitas koneksi *wifi*. Otak yang bekerja dalam Arduino UNO R3 ini *chipset* ATmega328P. Arduino UNO R3 ini memiliki 14 pin digital dan 6 pin analog, untuk penghantar daya menggunakan mikro USB konektor.

Perancangan Hardware dan Software

Perancangan *hardware* ini dilakukan dengan cara menyatukan semua komponen *hardware* yang diperlukan, Arduino UNO R3, *Adaptor 12V*, sensor TDS, *Module wifi* ESP 01, LCD i2c, Papan proyek, pompa peristaltik, *Module Relay 2ch 5V* menggunakan kabel *jumper*. *Software* arduino IDE yang dibuat dalam bahasa pemrograman C dan C++ dan menggunakan *real-time* 1 detik.

Perancangan Input dan Output

Rancangan Input berupa Sensor Gravity Analog TDS

Cara kerja dari sensor *gravity analog* TDS (sensor TDS) dimulai dengan pembangkitan gelombang sinus oleh rangkaian Osilator Jembatan *Wien* dengan frekuensi osilasi 5,3, kHz kemudian dikuatkan oleh penguat tak membalik yang besar penguatannya didasarkan dari besarnya nilai tahanan yang diperoleh dari hasil keluaran sensor konduktivitas. Sensor ini memiliki 3 pin yaitu pin data yang dihubungkan ke pin analog pada Arduino UNO R3, pin VCC yang disambungkan ke pin VCC pada Arduino UNO R3, dan pin GND yang disambungkan ke pin GND pada Arduino UNO R3.

Rancangan Output berupa LCD i2c

LCD i2c digunakan untuk menampilkan hasil pembacaan dari sensor berupa angka. LCD i2c biasa disebut LCD 20x4 yang artinya memiliki lebar display 4 baris dan 20 kolom dan 16 pin konektor. LCD ini menggunakan modul i2c yang mana hal ini membuat penggunaan pin berkurang menjadi 4 pin yaitu pin VCC yang dihubungkan dengan VCC pada Arduino UNO R3, pin GND yang dihubungkan pada pin GND di Arduino UNO R3, pin SCL yang dihubungkan ke pin SCL D15 (GPIO5) di Arduino UNO R3, dan pin SDA yang dihubungkan ke pin SDA D14 (GPIO4) pada Arduino UNO R3.

Kalibrasi Alat

Kalibrasi adalah metode yang digunakan untuk menentukan hubungan dalam kondisi tertentu antara nilai yang ditunjukkan oleh alat ukur atau sistem pengukuran dengan nilai acuan yang direalisasikan oleh standar (Irawan, 2019). Dalam penelitian ini, proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan TDS meter sebagai referensi untuk menguji keakuratan nilai yang dihasilkan oleh sensor. Kalibrasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi perbedaan antara hasil pembacaan dari alat ukur standar, yaitu TDS meter, dengan mikrokontroler Arduino UNO R3, sehingga dapat diperoleh estimasi nilai yang lebih akurat.

Instalasi Hidroponik Apung

Instalasi hidroponik rakit apung pada penelitian ini menggunakan baja ringan untuk kerangka utama dengan ukuran panjang 2 meter, tinggi 1 meter dan lebar 1 meter. Ketinggian air yang digunakan berkisar 20 cm dan untuk aliran udara digunakan pompa model SP-104 dengan *power* sebesar 22W dan *output* 2200L/H.

Uji Efektivitas Alat

Pengujian efektivitas alat kontrol nutrisi otomatis ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran sensor TDS mikrokontroler Arduino UNO R3 dengan alat ukur TDS meter. Tujuannya adalah mengetahui tingkat ketepatan (akurasi) dan ketelitian (presisi) dari alat kontrol nutrisi otomatis yang dibuat dengan persamaan berikut (Hariyanto et al., 2022):

$$\text{Akurasi} = 1 - \text{Persen Kesalahan}$$

(1)

$$\text{Persen Kesalahan} = - \left| \frac{F_n - K_n}{F_n} \right| \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Presisi} = 1 - St \quad (3)$$

Keterangan :

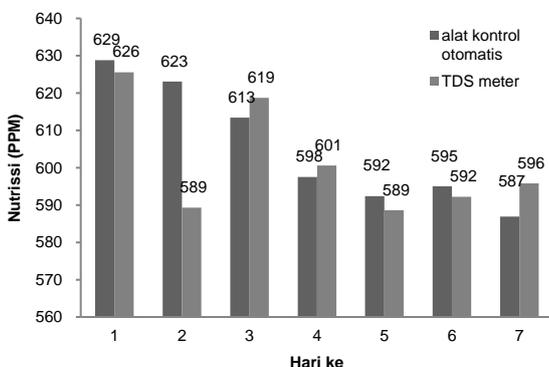
- F_n = Nilai sebenarnya
- K_n = Nilai yang terbaca pada alat ukur
- n = Jumlah data
- St = Standar deviasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

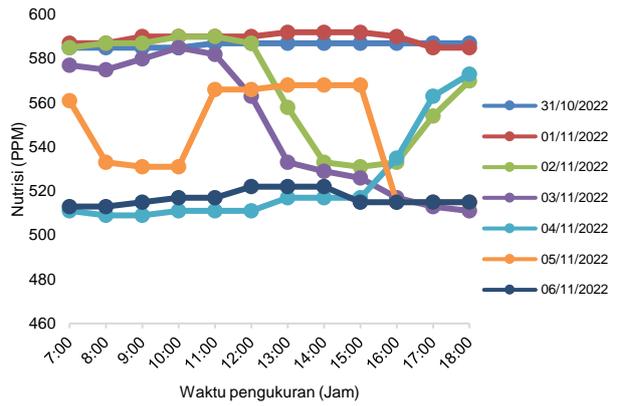
Pengukuran Nutrisi pada 2 MST dan 3 MST Pertumbuhan Tanaman Pakcoy

Hasil Pengukuran nutrisi dengan sensor TDS Mikrokontroler Arduino Uno R3 dan TDS meter pada 2 MST sampai 3 MST pada pertumbuhan tanaman pakcoy. Gambar 2 menunjukkan pada sensor TDS, nilai pada nutrisi yang diukur setiap jam dalam sehari trennya menurun dari 628,83 ppm pada awal pengamatan hingga 586,87 ppm pada akhir pengamatan. Sementara itu, pada pengukuran menggunakan TDS meter, nilai yang diperoleh berfluktuasi, dengan rentang dari 625,58 ppm hingga 595,79 ppm. Perbedaan hasil pengukuran antara kedua alat ini dapat disebabkan oleh sensitivitas sensor dan metode kalibrasi yang berbeda antara alat kontrol otomatis dan TDS meter, meskipun secara umum keduanya menunjukkan tren yang mirip, yaitu penurunan kandungan nutrisi larutan seiring waktu. Penelitian Sulaiman et al. (2024) menunjukkan bahwa faktor teknis seperti jenis sensor, kondisi lingkungan, dan metode kalibrasi pada alat juga dapat mempengaruhi akurasi pengukuran konduktivitas listrik dan TDS dalam larutan nutrisi.

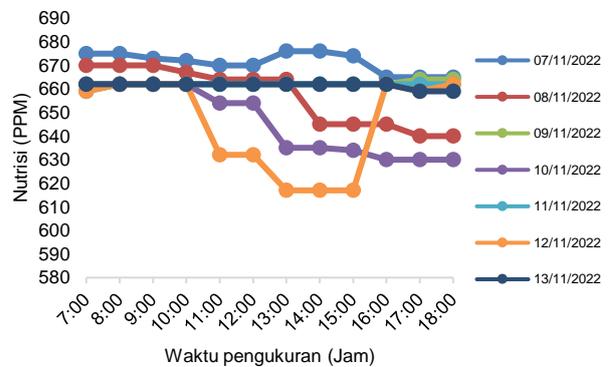
Penurunan nilai TDS pada periode 2 MST hingga 3 MST dapat disebabkan oleh meningkatnya penyerapan nutrisi oleh tanaman pada tahap awal pertumbuhan, di mana kebutuhan unsur hara meningkat secara signifikan. Yama dan Kartiko (2020) menyatakan bahwa penurunan kadar nutrisi dalam larutan hidroponik menandakan bahwa tanaman menyerap unsur hara secara optimal. Dalam hal ini, sistem kontrol otomatis lebih efektif karena mampu menjaga kestabilan larutan secara *real-time*, sedangkan TDS meter lebih sesuai untuk pengukuran manual secara berkala (Hidayatullah et al., 2022). Hasil pengukuran nutrisi dengan sensor TDS Mikrokontroler Arduino Uno R3 setiap jam pada 2 MST dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 2. Hasil pengukuran nutrisi dengan sensor TDS mikrokontroler Arduino Uno R3 dan TDS meter pada 2 MST sampai 3 MST pertumbuhan tanaman pakcoy



Gambar 3. Hasil pengukuran nutrisi dengan sensor TDS mikrokontroler Arduino Uno R3 setiap jam pada 2 MST pada pertumbuhan tanaman pakcoy



Gambar 4. Hasil pengukuran nutrisi dengan sensor TDS mikrokontroler Arduino Uno R3 setiap jam pada 3 MST pada pertumbuhan tanaman pakcoy

Gambar 3 menunjukkan fluktuasi konsentrasi nutrisi dipengaruhi oleh penyerapan nutrisi oleh tanaman dan juga penguapan yang terjadi dalam lingkungan hidroponik. Untuk menjaga kestabilan konsentrasi nutrisi, sistem kontrol berbasis mikrokontroler Arduino Uno R3 dapat merespons perubahan yang terdeteksi oleh sensor dengan cepat, sehingga kebutuhan nutrisi tanaman dapat terpenuhi secara tepat dan efisien. Sementara itu, pada minggu ketiga, seperti terlihat pada Gambar 4, penyerapan nutrisi oleh tanaman pakcoy cenderung lebih tinggi dibandingkan minggu kedua, menyebabkan penurunan konsentrasi nutrisi dalam larutan berlangsung lebih cepat. Pemantauan nutrisi setiap jam sangat penting untuk memastikan tanaman tidak mengalami kekurangan unsur hara selama fase pertumbuhan yang krusial. Hal ini terjadi karena semakin besar tanaman, sistem akarnya akan menyerap lebih banyak nutrisi guna mendukung proses fotosintesis dan perkembangan jaringan. Selain itu, faktor lingkungan seperti suhu dan intensitas cahaya juga berpengaruh terhadap laju penyerapan nutrisi (Rouhillah et al., 2022).

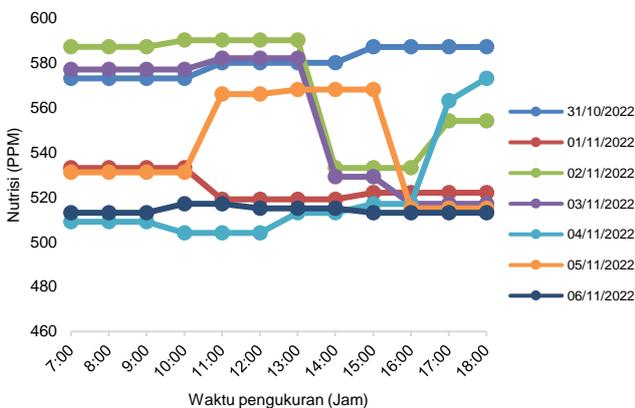
Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan TDS meter berguna untuk memantau variasi konsentrasi nutrisi yang semakin beragam akibat peningkatan laju penyerapan oleh tanaman. Pengukuran setiap jam diperlukan agar alat kontrol otomatis dapat menjaga kestabilan larutan nutrisi, sehingga mencegah terjadinya defisiensi pada tanaman. TDS meter memberikan data numerik yang menggambarkan total konsentrasi nutrisi, yang kemudian dikonfirmasi oleh alat kontrol otomatis. Apabila konsentrasi TDS turun di bawah ambang batas yang ditentukan, sensor TDS akan

menambahkan nutrisi ke dalam larutan hingga mencapai level optimal. Data pengukuran setiap jam ini sangat membantu dalam mengidentifikasi pola penyerapan nutrisi oleh tanaman serta mendeteksi potensi gangguan dalam sistem pengontrolan.

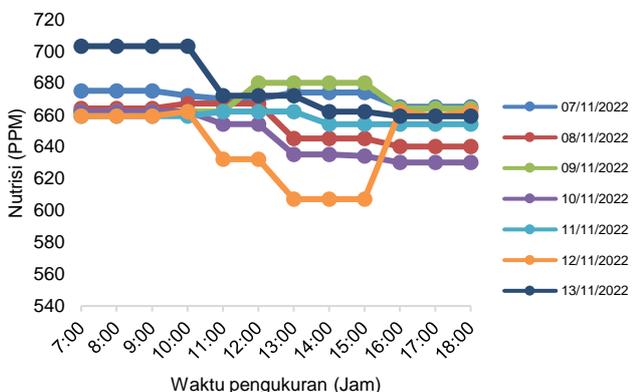
Korelasi Sensor TDS Mikrokontroler Arduino UNO R3 dengan TDS meter

Korelasi antara Sensor TDS Arduino Uno R3 dengan TDS meter pada 2 MST dapat dilihat pada Gambar 7. Pada Gambar 7 pada periode 2 MST menunjukkan adanya korelasi positif antara hasil pengukuran dari alat kontrol otomatis dan TDS meter dengan nilai R sebesar 0,3625. Nilai pengukuran yang diambil dari kedua alat menunjukkan fluktuasi dalam rentang yang serupa. Pada Arduino Uno R3, nilai tertinggi tercatat sebesar 586,33 ppm dan nilai terendah mencapai 516,75 ppm. Sementara pada TDS meter, nilai tertinggi berada pada 580 ppm dan nilai terendah sebesar 514,16 ppm.

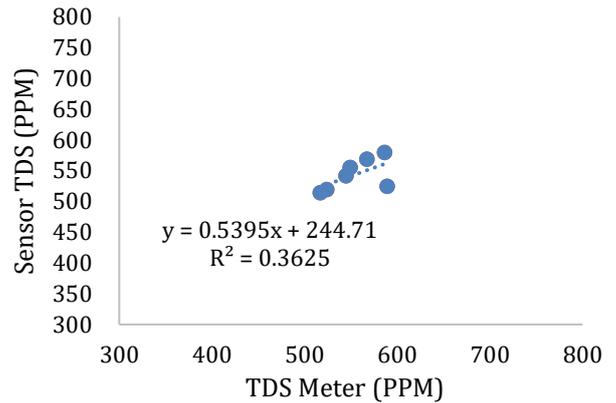
Berdasarkan hasil pengukuran tersebut terlihat bahwa nilai tertinggi dan terendah antara kedua instrumen ukur tersebut memiliki angka yang tidak berbeda jauh. Terlihat bahwa hasil pengukuran dengan Arduino Uno R3 memiliki nilai yang lebih tinggi dikarenakan sensitivitas rangkaian elektronik yang dapat dipengaruhi oleh fluktuasi tegangan dan interferensi lingkungan. Selain itu, sensor TDS Mikrokontroler Arduino Uno R3 bekerja dengan prinsip konversi tegangan analog ke digital yang dapat menghasilkan perbedaan nilai kecil jika dibandingkan dengan alat TDS meter (Irawan et al., 2021).



Gambar 5. Hasil pengukuran nutrisi dengan TDS meter setiap jam pada 2 MST pertumbuhan tanaman pakcoy



Gambar 6. Hasil pengukuran nutrisi dengan TDS meter setiap jam pada 3 MST pertumbuhan tanaman pakcoy



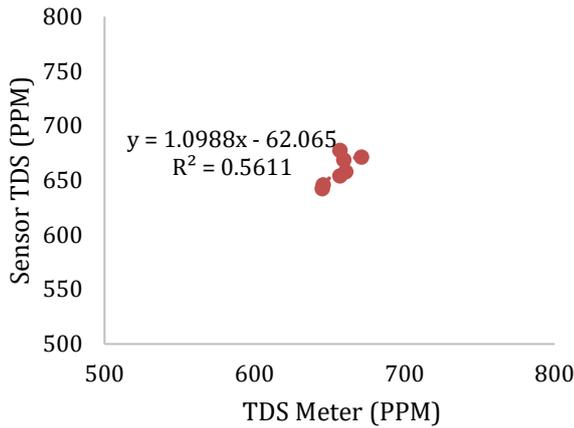
Gambar 7. Korelasi antara sensor TDS mikrokontroler Arduino Uno R3 dengan TDS meter pada 2 MST pertumbuhan tanaman pakcoy

Hal ini dapat menunjukkan bahwa kedua alat dapat saling mendukung dalam memantau nutrisi hidroponik, meskipun terdapat sedikit variasi yang disebabkan oleh ketepatan pengukuran yang berbeda karena sistem kalibrasi. Korelasi antara Sensor TDS Mikrokontroler Arduino Uno R3 dengan TDS meter pada 3 MST dapat dilihat pada Gambar 8.

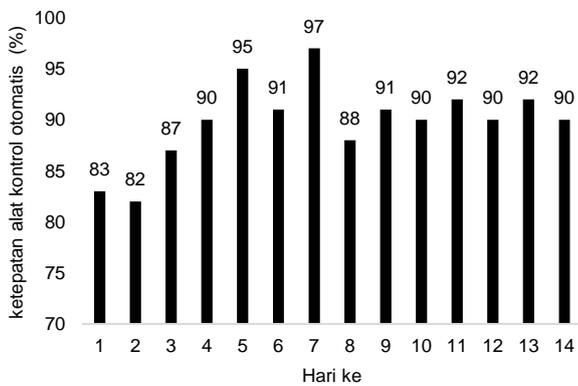
Pada Gambar 8 pada periode 3 MST, terdapat fluktuasi yang lebih besar dibandingkan periode sebelumnya. Nilai tertinggi yang diukur oleh Sensor TDS Arduino Uno R3 adalah 671,33 ppm, sedangkan nilai terendah mencapai 645,25 ppm. Sementara itu, pengukuran menggunakan TDS meter menunjukkan nilai tertinggi sebesar 671,16 ppm dan nilai terendah 642,25 ppm. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun metode yang digunakan oleh alat berbeda, hasil pengukuran dapat memberikan gambaran yang konsisten terkait kandungan nutrisi dan korelasi ditunjukkan dengan nilai R sebesar 0,5611. Namun, hasil ini juga menggarisbawahi pentingnya kalibrasi dan pemeliharaan alat secara berkala untuk memastikan akurasi pengukuran, terutama pada fase-fase kritis pertumbuhan tanaman seperti pada masa 3 MST di mana kebutuhan nutrisi meningkat (Albert et al., 2023).

Ketepatan Sensor TDS Mikrokontroler Arduino Uno R3

Ketepatan Hasil dari Sensor TDS pada 2 MST sampai 3 MST pada Pertumbuhan Tanaman Pakcoy dapat dilihat pada Gambar 9. Pada Gambar 9 menunjukkan menunjukkan korelasi yang cukup baik, dengan nilai rerata pengukuran sensor sekitar 629 ppm, sementara pada TDS meter rerata pengukurannya berkisar 626 ppm. Hal ini menandakan bahwa kedua alat memberikan hasil yang hampir sama dalam mengukur kadar padatan terlarut pada larutan hidroponik. Selain itu, ketepatan sensor TDS berkisar antara 83% hingga 97% dari hari pertama hingga hari ke-14, yang menunjukkan bahwa alat ini cukup andal dalam menjaga stabilitas kadar nutrisi yang diperlukan oleh tanaman hidroponik. Albert et al. (2023) menekankan pentingnya penggunaan alat kontrol otomatis dalam sistem hidroponik untuk meminimalkan fluktuasi kadar nutrisi yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Selain itu, penelitian oleh Nguyen et al. (2022) juga menunjukkan bahwa pemantauan TDS secara *real-time* menggunakan sensor berbasis mikrokontroler dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan nutrisi dalam sistem hidroponik.



Gambar 8. Korelasi antara sensor TDS mikrokontroler Arduino Uno R3 dengan TDS meter 3 MST pada pertumbuhan tanaman pakcoy



Gambar 9. Ketepatan hasil dari sensor TDS pada 2 MST sampai 3 MST pada pertumbuhan tanaman pakcoy

Presisi Sensor (%)

Presisi Sensor TDS pada penelitian ini bertujuan untuk menghitung seberapa presisi alat kontrol nutrisi dalam memberikan nutrisi dan juga mengukur kadar nutrisi dengan nilai yang sudah ditetapkan. Presisi alat kontrol nutrisi otomatis ini merupakan indikator untuk melihat seberapa presisi kinerja sensor TDS untuk nutrisi dimana dari nilai presisi yang dihasilkan dapat dilihat kemampuan sensor TDS guna meningkatkan optimalisasi pemberian nutrisi pada tanaman sehingga tidak terlalu banyak nutrisi yang berlebih. Nilai presisi alat penelitian dapat dilihat pada Gambar 10.

Berdasarkan Gambar 10 menunjukkan adanya variasi yang signifikan dalam kinerja alat selama 21 MST. Nilai presisi berkisar dari 0,02 hingga 29,08. Beberapa lonjakan pada titik-titik tertentu seperti pada nilai 23,21 dan 29,08. Lonjakan ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti perubahan kondisi lingkungan yang mempengaruhi sensor atau adanya perbedaan dalam dosis pemberian nutrisi pada setiap percobaan. Secara umum, nilai presisi yang lebih rendah, seperti 0,02 dan 0,13, menunjukkan bahwa alat berfungsi lebih akurat pada beberapa kondisi tertentu, tetapi ketika nilai presisi meningkat mengindikasikan kemungkinan adanya ketidaktepatan dalam pengukuran atau pemberian nutrisi.

Berdasarkan teori otomasi dan kontrol nutrisi tanaman, konsistensi dalam pemberian nutrisi sangat penting untuk memastikan pertumbuhan tanaman yang optimal. sistem

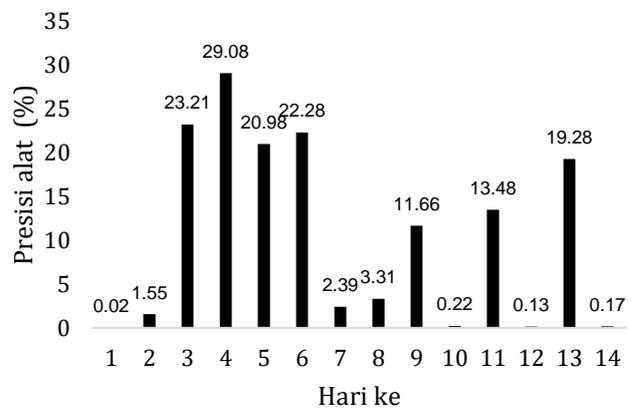
otomatis memerlukan penyesuaian yang tepat untuk menghindari kesalahan dalam pemberian nutrisi yang dapat mempengaruhi kualitas tanaman secara keseluruhan (Wardihani et al., 2024). Selain itu, penting untuk mengevaluasi faktor-faktor eksternal yang mungkin mempengaruhi sensor, seperti suhu, kelembaban, dan pH larutan (presisi alat).

Persen Kesalahan (%)

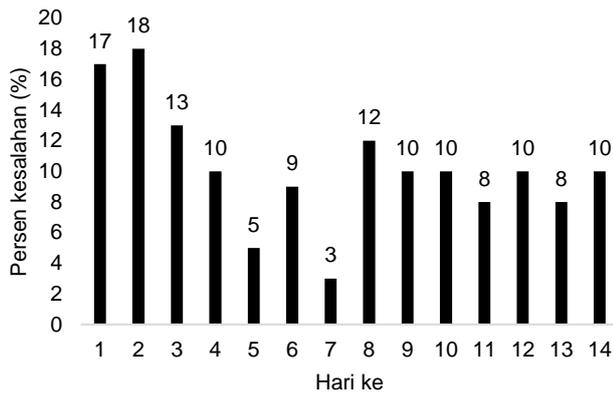
Analisis ini bertujuan untuk melihat kemampuan kinerja sensor TDS berbasis Mikrokontroler Arduino Uno R3 yang hasil dinyatakan dalam persen dapat dilihat pada Gambar 11. Berdasarkan Gambar 11 terlihat adanya variasi kesalahan dengan nilai kesalahan berkisar antara 3% hingga 18%, dengan beberapa titik menunjukkan nilai kesalahan yang lebih tinggi pada awal fase pertumbuhan. Nilai tertinggi terlihat pada angka 18%, sedangkan nilai terendah tercatat pada 3%. Kesalahan ini menunjukkan bahwa sensor masih menghadapi tantangan dalam mengatur nutrisi dengan akurasi tinggi sepanjang proses pemantauan. Pada beberapa titik, nilai persen kesalahan mencapai 17% dan 18%, yang kemungkinan besar disebabkan oleh faktor eksternal seperti perubahan suhu atau kelembaban yang tidak terdeteksi dengan baik oleh sensor. Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa perangkat otomatis berbasis mikrokontroler, terutama dalam sistem hidroponik, dapat terpengaruh oleh kondisi lingkungan yang bervariasi (Michael et al., 2021).

Sensitivitas sensor juga berperan terhadap persen kesalahan. Sensor TDS meter komersial biasanya lebih stabil dan sensitif terhadap perubahan kecil dalam larutan. Sensor pada Arduino Uno R3 juga dapat dipengaruhi oleh gangguan listrik atau perubahan suhu lingkungan (Sato & Kakiuchi, 2021). Interval waktu pengukuran juga turut mempengaruhi hasil. Arduino Uno R3 cenderung merekam data secara kontinyu, sehingga fluktuasi ekstrim bisa tercatat dan mempengaruhi persen kesalahan (Sulaiman et al., 2023).

Nilai kesalahan yang lebih rendah, seperti 3%, menunjukkan bahwa sensor TDS dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi tertentu, mencerminkan kemampuan sistem untuk mencapai tingkat akurasi yang diinginkan. Namun, fluktuasi dalam nilai kesalahan memerlukan pemeliharaan alat agar kalibrasinya tetap tepat. Hal ini sejalan dengan penelitian lain yang menyatakan bahwa perangkat otomatis untuk distribusi nutrisi memerlukan penyesuaian yang terus-menerus untuk mengurangi margin kesalahan (Albert et al., 2023).



Gambar 10. Presisi hasil dari sensor TDS mikrokontroler Arduino Uno R3 pada 2 MST sampai 3 MST pada pertumbuhan tanaman pakcoy



Gambar 11. Nilai persen kesalahan sensor TDS mikrokontroler Arduino Uno R3 pada 2 MST pada pertumbuhan tanaman pakcoy

TDS meter biasanya digunakan secara sesaat yang menghasilkan pembacaan lebih stabil sehingga nilai kesalahan bisa lebih rendah (Wibowo et al., 2019). Faktor-faktor seperti suhu larutan, kestabilan pH, kualitas kalibrasi sensor, serta tingkat homogenitas larutan sangat berpengaruh terhadap ketepatan pembacaan dan kestabilan sistem pengukuran otomatis yang dapat menyebabkan nilai kesalahan lebih rendah (Yin et al., 2021). Optimalisasi ini sangat penting untuk mencapai hasil yang lebih konsisten dan meningkatkan produktivitas tanaman.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah bahwa korelasi antara Sensor TDS Mikrokontroler Arduino Uno R3 dengan TDS meter pada 3 MST pertumbuhan Tanaman Pakcoy sebesar 0,56 dengan tren berbanding lurus. Pada pengukuran 2 MST, Sensor TDS menghasilkan konsentrasi sebesar 554 ppm, sementara pada 3 MST pada pertumbuhan tanaman pakcoy meningkat menjadi 657 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa alat tersebut efektif dalam memantau dan menjaga konsentrasi nutrisi sesuai dengan kebutuhan pertumbuhan tanaman pada setiap fase perkembangan. Tingkat ketepatan Sensor TDS dalam membaca menunjukkan akurasi rata-rata sebesar 89% pada 2 MST dan meningkat menjadi 91% pada 3 MST, yang menandakan bahwa Sensor TDS Arduino UNO R3 berfungsi dengan baik dalam mempertahankan kadar nutrisi optimal. Presisi Sensor TDS juga meningkat dari 2 MST ke 3 MST, dengan nilai rata-rata presisi sebesar 13,58% pada 2 MST, yang kemudian turun menjadi 7,81% pada 3 MST. Persentase kesalahan dalam pengukuran nutrisi menunjukkan kesalahan rata-rata sebesar 11% pada 2 MST dan menurun menjadi 9,7% pada 3 MST. Hal ini mengindikasikan adanya peningkatan performa dan konsistensi sensor TDS dalam membaca nilai ppm dalam larutan hidroponik apung sesuai dengan alat ukur standar..

DAFTAR PUSTAKA

Albert, M. C., Hans, H., Karteja, H., & Widiyanto, M. H. (2023). Development of Hydroponic IoT-based Monitoring System and Automatic Nutrition Control using KNN. *ICCoSITE 2023 - International Conference on Computer Science, Information Technology and Engineering: Digital Transformation Strategy in Facing the VUCA and TUNA Era*, May, 974–979.

- <https://doi.org/10.1109/ICCoSITE57641.2023.10127765>
- Ambrosio, A. Z. M. H., Jacob, L. H. M., Rulloda, L. A. R., Jose, J. A. C., Bandala, A. A., Sy, A., Vicerra, R. R., & Dacios, E. P. (2019). Implementation of a Closed Loop Control System for the Automation of an Aquaponic System for Urban Setting. *2019 IEEE 11th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management, HNICEM 2019*. <https://doi.org/10.1109/HNICEM48295.2019.9072729>
- Anwar, M.F., Etiana, E., Sofyan, & Hidayatullah, M. (2022). Sistem Hidroponik Otomatis Berbasis Arduino Uno R3. *Journal Altron; Journal of Electronics, Science & Energy systems*, 1(1), 25-33. <https://doi.org/10.51401/altron.v1i1.1674>
- Ardiani, Y. M., & Noegroho. (2020). Layout housing typology using hydroponics system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 426(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/426/1/012106>
- Crisnapati, P. N., Wardana, I. N. K., Aryanto, I. K. A. A., & Hermawan, A. (2017). Hommons: Hydroponic management and monitoring system for an IOT based NFT farm using web technology. *2017 5th International Conference on Cyber and IT Service Management, CITSM 2017*. <https://doi.org/10.1109/CITSM.2017.8089268>
- Eridani, D., Wardhani, O. & Widiyanto, E.D. 2017. Designing and implementing the arduino-based nutrition feeding automation system of a prototype scaled nutrient film technique (NFT) hydroponics using total dissolved solids (TDS) sensor. In *2017 4th International conference on information technology, computer, and electrical engineering (ICITACEE) Semarang, Indonesia, 2017*, pp. 170-175. <https://doi.org/10.1109/ICITACEE.2017.8257697>
- Hanafie, A., Baco, S. & Asri, N.R. (2023). Implementasi Sistem Otomatisasi Penyiraman Tanaman Hidroponik. *ILTEK: Jurnal Teknologi*, 18(01), 33-39. <https://doi.org/10.47398/iltek.v18i01.82>
- Harijanto, E., Yuliati, A., & Widiyanti, P. (2022). Compressive Strength and Porosity Size of Bovine-Gelatin-Chitosan Hydroxyapatite Scaffold. *Journal of International Dental and Medical Research*, 15(3), 990–994.
- Hidayatullah, M., Sofyan, S., Ali Topan, P., Andriani, T., & Nurhairunnisah, N. (2022). Monitoring System of Water Quality on Hydroponic Planting Media using Total Dissolved Solid (TDS) Sensor Based Arduino Uno R3. *Jurnal Ilmu Fisika | Universitas Andalas*, 14(2), 108–115. <https://doi.org/10.25077/jif.14.2.108-115.2022>
- Irawan, A. (2019). Kalibrasi Spektrofotometer Sebagai Penjaminan Mutu Hasil Pengukuran dalam Kegiatan Penelitian dan Pengujian. *Indonesian Journal of Laboratory*, 1(2), 1. <https://doi.org/10.22146/ijl.v1i2.44750>
- Irawan, Y., Febriani, A., Wahyuni, R. & Devis, Y. (2021). Water quality measurement and filtering tools using Arduino Uno, PH sensor and TDS meter sensor. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 2(5), 357-362. <https://doi.org/10.18196/jrc.v2i5.10166>
- Kuncoro, E.A., Prima, F.H., Hower, H., Kurniawan, D., & Hersyamsi. (2024). Uji Kinerja Alat Kontrol Kekeuhan dan Derajat Keasaman untuk Penyediaan Air Baku Tanaman Hidroponik Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno R3. *Jurnal Technopreneur (JTech)*, 12(1), 1-8. <https://doi.org/10.30869/jtech.v12i1.1340>

- Lestari, I., Prasetyo, R. D., & Purnomo, E. (2024). Design and Implementation of Automated Hydroponic System using Arduino and IoT for Sustainable Agriculture. *Journal of Agricultural Technology*, 22(4), 108-116.
- Lenni, L., Suhardiyanto, H., Seminar, K. B., & Setiawan, R. P. A. (2020). Development of a control system for lettuce cultivation in floating raft hydroponics. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 542(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/542/1/012067>
- Lim, D., Keerthi, K., Perumbilavil, S., Suchand Sandeep, C.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(1), 111. <https://doi.org/10.1186/s40538-024-00641-6>
- Michael, G. W., Tay, F. S., & Then, Y. L. (2021). Development of Automated Monitoring System for Hydroponics Vertical Farming. *Journal of Physics: Conference Series*, 1844(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1844/1/012024>
- Montoya, A. P., Obando, F. A., Morales, J. G., & Vargas, G. (2017). Automatic aeroponic irrigation system based on Arduino's platform. *Journal of Physics: Conference Series*, 850(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/850/1/012003>
- Nguyen, H. C., Thi, B. T. V., & Ngo, Q. H. (2022). Automatic Monitoring System for Hydroponic Farming: IoT-Based Design and Development. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 12(3), 210–219. <https://doi.org/10.55493/5005.v12i3.4630>
- Nikose, P. C. & Mehare, J. P. (2023). Monitoring and Controlling Hydroponic Units using IoT. *International Journal For Multidisciplinary Research*, 5(3), 1-5. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i03.4167>
- Pantarella, E., Cardarelli, M., Danieli, P. P., Macniven, A., & Colla, G. (2010). Acuicultura integrada-agricultura flotante: ¿es una estrategia válida para elevar el sustento? *XXVIII Congreso Internacional de Horticultura Sobre Ciencia y Horticultura Para Las Personas (IHC 2010): Simposio Internacional Sobre* 921, 79–86.
- Parenreng, J.M., Andani, A.F.A.T., Yahya, M. & Adiba, F. (2024). Internet-based Design of Hydroponic Plants Monitoring and Automation Control Systems. *IOTA Journal*, 4(2), 339-353. <https://doi.org/10.31763/iota.v4i2.744>
- Purwanto, A., Kurniawan, D., & Suryanto, H. (2024). Optimization of Nutrient Control in Hydroponic Systems using Arduino-based Automation. *Journal of Smart Agriculture*, 14(3), 134-142.
- Rouhillah, R., Salfikar, I., & Ichan, M. (2022). Kontrol Nutrisi Tanaman Hidroponik Berbasis Monitoring Internet of Things. *Elektron : Jurnal Ilmiah*, 14(November), 72–77. <https://doi.org/10.30630/eji.14.2.306>
- Rusman, J., Michael, A., Garonga, M. & Paongan, Y. (2022). Sistem kontrol kadar nutrisi tanaman hidroponik berbasis arduino UNO. *Journal Dynamic Saint*, 7(2), 8-14. <https://doi.org/10.47178/dynamicsaint.v7i2.1895>
- Sari, I.P., Novita, A., Al-Khowarizmi, A.K., Ramadhani, F. & Satria, A. (2024). Pemanfaatan Internet of Things (IoT) pada Bidang Pertanian Menggunakan Arduino UnoR3. *Blend Sains Jurnal Teknik*, 2(4), 337-343. <https://doi.org/10.56211/blendsains.v2i4.505>
- Satoh, Y. & Kakiuchi, H. (2021). Calibration method to address influences of temperature and electrical conductivity for a low-cost soil water content sensor in the agricultural field. *Agricultural Water Management*, 255, p.107015. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107015>
- Shariff, M. A. H. M., Rahim, Y. A., Ali, A. M., Khalil, A. N. M., Azmi, A. I., & Salleh, H. M. (2021). Effect of Coco Amido Propyl Betaine (CAPB) on Thermal Conductivity of Bio-Based Hybrid Nanolubricant. In *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0866-7_32
- Sihombing, P., Karina, N. A., Tarigan, J. T., & Syarif, M. I. (2018). Automated hydroponics nutrition plants systems using arduino uno microcontroller based on android. *Journal of Physics: Conference Series*, 978(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/978/1/012014>
- Sulaiman, H., Yusof, A.A. & Nor, M.K.M. (2024). Enhancing Electrical Conductivity and pH Sensor Measurements in Precision Hydroponics: Comparative Analysis of Six Data Processing Methods. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1426 (1), 012004. IOP Publishing.
- Sulaiman, S.F., KASSIM, A.H.A., Samsudin, S.I., Sulaiman, N.A. and Sunar, N., 2023. IoT-based monitoring system for hydroponics. *Przeegląd Elektrotechniczny*, 2023(8). <https://doi.org/10.15199/48.2023.08.24>
- Suseno, J. E., Munandar, M. F., & Priyono, A. S. (2020). The control system for the nutrition concentration of hydroponic using web server. *Journal of Physics: Conference Series*, 1524(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1524/1/012068>
- Tatas, K., Al-Zoubi, A., Christofides, N., Zannettis, C., Chrysostomou, M., Panteli, S. & Antoniou, A. (2022). Reliable IoT-based monitoring and control of hydroponic systems. *Technologies*, 10(1), 26. <https://doi.org/10.3390/technologies10010026>
- Wardihani, E. D., Sari, E. U., Nugroho, A. S., Badruzzaman, Y., & Nursyahid, A. (2024). *Monitoring and Controlling of IoT-Based Greenhouse Parameters With the MQTT Protocol*. 13(1), 38–43.
- Wibowo, R.R.D.I., Ramdhani, M., Priramadhi, R.A. & Aprilia, B.S. (2019). IoT based automatic monitoring system for water nutrition on aquaponics system. In *Journal of physics: Conference series*, 1367(1), 012071. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1367/1/012071>
- Yama, D.I. & Kartiko, H. (2020). Pertumbuhan dan kandungan klorofil pakcoy (*Brassica rappa* L) pada beberapa konsentrasi AB Mix dengan sistem wick. *Jurnal Teknologi*, 12(1), 21-30. <https://doi.org/10.24853/jurtek.12.1.21-30>
- Yanes, A. R., Martinez, P., & Ahmad, R. (2020). Towards automated aquaponics: A review on monitoring, IoT, and smart systems. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121571. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121571>
- Yin, H., Cao, Y., Marelli, B., Zeng, X., Mason, A.J. & Cao, C. (2021). Soil sensors and plant wearables for smart and precision agriculture. *Advanced Materials*, 33(20), 2007764. <https://doi.org/10.1002/adma.202007764>