

SISTEM OTOMATISASI AEROPONIK INDOOR PADA TANAMAN SAWI BERBASIS INTERNET OF THINGS

Abdul Hannan¹⁾, Tedy Rismawan²⁾, Kartika Sari³⁾

^{1,2,3)} Program Studi Rekayasa Sistem Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura Pontianak, Indonesia
Jl. Prof. Dr.H.Hadari Nawawi, Pontianak, 78124

Email: ¹h1051201004@student.untan.ac.id, ²tedyrismawan@siskom.untan.ac.id, ³kartika.sari@siskom.untan.ac.id

Abstract

The increasing global population poses serious challenges in meeting food demand, and IoT technology offers solutions to improve agricultural productivity and efficiency. This research develops and implements an IoT-based indoor aeroponic system for the cultivation of mustard greens, a fast-growing, nutrient-rich leaf vegetable. The system uses LED Grow Light for optimal lighting, capacitive soil moisture sensor to detect uneven nutrient condensation, and pH sensor to maintain nutrient solution balance. Since each plant requires specific temperature, ph, and nutrients, determining the type of plant is important for ideal conditions. The system uses NodeMCU ESP32 and Arduino microcontrollers to monitor and control the growing environment automatically. The results show the effectiveness of the system in controlling plant growth parameters with high accuracy: air temperature (99.24%), water temperature (98.63%), nutrient content (96.50%), water height (94.20%), and water pH (98.88%). The system also provides 12 hours of LED lighting every day and detects condensation unevenness by sending notifications via Telegram. This research shows how IoT technology can improve agricultural efficiency, providing the potential to support the fulfilment of global food needs through IoT technology.

Keywords: *Aeroponics, IoT, LED Grow Light, pH Sensor, Agriculture Automation.*

Abstrak

Pertumbuhan populasi global yang pesat menimbulkan tantangan serius dalam memenuhi kebutuhan pangan, dan teknologi IoT menawarkan solusi untuk meningkatkan produktivitas serta efisiensi pertanian. Penelitian ini mengembangkan dan menerapkan sistem aeroponik dalam ruangan berbasis IoT untuk budidaya tanaman sawi, sebuah sayuran daun yang cepat tumbuh dan kaya akan nutrisi. Sistem ini menggunakan LED Grow Light untuk pencahayaan optimal, sensor kelembaban tanah kapasitif untuk mendeteksi ketidakmerataan pengembunan nutrisi, dan sensor pH untuk menjaga keseimbangan larutan nutrisi. Karena setiap tanaman membutuhkan suhu, ph, dan nutrisi yang spesifik, penentuan jenis tanaman penting untuk kondisi ideal. Sistem ini menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32 dan Arduino untuk memantau dan mengendalikan lingkungan tumbuh secara otomatis. Hasil penelitian menunjukkan efektivitas sistem dalam mengontrol parameter pertumbuhan tanaman dengan akurasi tinggi: suhu udara (99,24%), suhu air (98,63%), kandungan nutrisi (96,50%), tinggi air (94,20%), dan pH air (98,88%). Sistem ini juga menyediakan pencahayaan LED 12 jam setiap hari dan mendeteksi ketidakmerataan pengembunan dengan mengirimkan notifikasi melalui Telegram. Penelitian ini menunjukkan bagaimana teknologi IoT dapat meningkatkan efisiensi pertanian, memberikan potensi untuk mendukung pemenuhan kebutuhan pangan global melalui teknologi IoT.

Kata Kunci: *Aeroponik, IoT, LED Grow Light, Sensor pH, Otomatisasi Pertanian.*

1. Pendahuluan

Pertumbuhan populasi global yang terus meningkat menimbulkan tantangan serius dalam memenuhi kebutuhan pangan dunia. Salah satu pendekatan untuk mengatasi tantangan ini adalah dengan meningkatkan produktivitas dan efisiensi dalam pertanian. Dengan memungkinkan pemantauan dan pengaturan kondisi pertumbuhan tanaman yang tepat, teknologi Internet of Things (IoT) telah terbukti menjadi alat yang berharga untuk meningkatkan produktivitas dan kinerja pertanian [1].

Pertanian aeroponik semakin populer, terutama untuk tanaman seperti kaktus, mentimun, bawang putih, daun bawang, seledri, melon, selada, sawi, tomat, bawang merah, dan anggrek. Budidaya aeroponik menawarkan keunggulan



dalam penggunaan air dan nutrisi yang lebih efisien serta memungkinkan pertumbuhan tanaman yang lebih cepat dan produktif dibandingkan metode konvensional. Dalam sistem konvensional, tanaman seringkali memerlukan lahan yang luas dan banyak air, sedangkan sistem aeroponik memungkinkan pertumbuhan tanaman tanpa tanah dengan menggunakan air dan nutrisi yang disemprotkan langsung ke akar. Hal ini mengurangi penggunaan air dan memungkinkan penanaman di daerah yang tidak subur atau di dalam ruangan, sehingga cocok untuk daerah perkotaan dengan ruang terbatas [2].

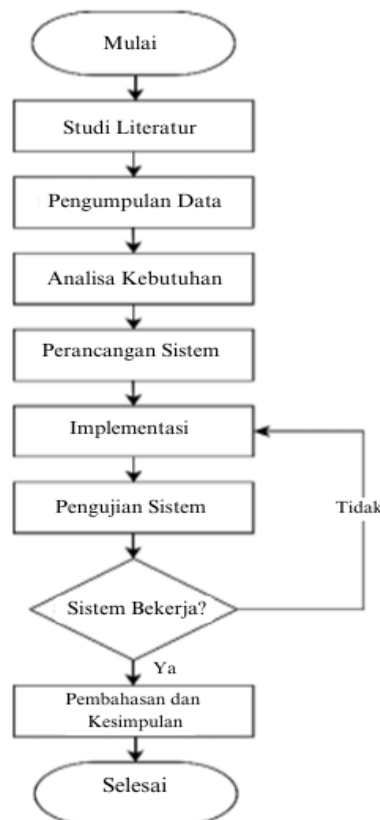
Salah satu aspek penting dalam budidaya tanaman terutama dalam konteks aeroponik dan hidroponik adalah pencahayaan. LED Grow Light telah menjadi pilihan utama dalam sistem pencahayaan untuk pertanian dalam ruangan karena efisiensinya yang tinggi dan kemampuan untuk menyediakan spektrum cahaya yang sesuai bagi tanaman. Penerapan LED Grow Light dalam budidaya aeroponik membantu meningkatkan fotosintesis, mempercepat pertumbuhan, dan meningkatkan hasil panen [3].

Beberapa penelitian telah dilakukan pada sistem pertanian dalam ruangan berbasis IoT dan aeroponik. Penelitian terkait mencakup pengembangan sistem IoT untuk pemantauan dan pengelolaan tanaman kentang yang dibudidayakan di lingkungan aeroponik [4], pengendalian otomatisasi berbasis IoT untuk sistem aeroponik horizontal [5], Investigasi tambahan difokuskan pada sistem pencahayaan LED yang mendukung IoT untuk mengendalikan dan memantau kondisi pertanian hidroponik dalam ruangan [6].

Sistem Otomasi Aeroponik Dalam Ruangan Berbasis IoT untuk Tanaman Mustard” dikembangkan sebagai respons terhadap tantangan yang diidentifikasi dalam penelitian sebelumnya. Sistem ini menggabungkan berbagai sensor, termasuk pH, ultrasonik, DHT11, DS18B20, TDS, dan sensor kelembapan tanah kapasitif. Sensor kelembapan tanah kapasitif secara khusus digunakan untuk memantau tingkat kelembapan media pertumbuhan, memastikan bahwa tanaman menerima nutrisi yang memadai melalui proses pengembunan, serta mendeteksi kebutuhan air dan nutrisi dengan lebih akurat untuk mencegah penggenangan atau kekurangan air yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Selain itu, lampu tanam LED dirancang untuk meningkatkan pencahayaan dalam ruangan, sehingga mendorong fotosintesis dan mendukung pertumbuhan tanaman mustard. Penerapan sistem ini diharapkan dapat meningkatkan hasil dan kualitas tanaman mustard, mengatasi tantangan pengendalian lingkungan, dan meningkatkan efisiensi sumber daya.

2. Metodologi Penelitian

Proses pengembangan sistem otomasi aeroponik berbasis IoT mencakup beberapa tahap utama: tinjauan pustaka, pengumpulan data, analisis persyaratan, desain sistem, penerapan, pengujian, dan kesimpulan. Tahap pengujian melibatkan pengumpulan data dari setiap sensor, pemrosesannya untuk mengendalikan aktuator, menampilkan informasi pada LCD, dan pengiriman notifikasi melalui Telegram. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1. Studi Literatur

Tinjauan pustaka ini mencakup berbagai komponen, termasuk penggunaan mikrokontroler NodeMCU ESP32, platform Arduino, berbagai sensor (seperti DHT11, DS18B20, TDS, ultrasonik, pH, dan sensor kelembapan tanah kapasitif), serta pemasangan lampu LED dan LCD 16x2 dalam sistem aeroponik.

2.2. Pengumpulan Data

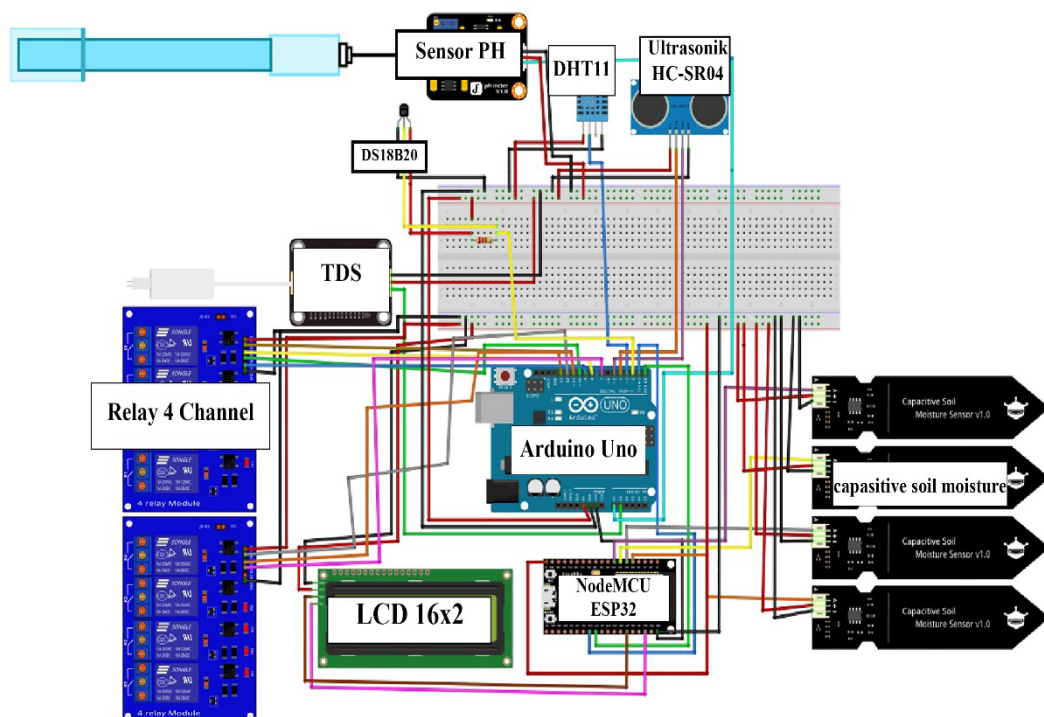
Pada tahap ini, data akan dikumpulkan dari sumber-sumber yang berwenang dalam literatur akademis, seperti buku, jurnal, dan artikel yang meneliti faktor-faktor utama seperti suhu, pH, dan TDS dalam budidaya tanaman sawi secara aeroponik. Informasi ini akan memandu penelitian untuk memastikan kondisi pertumbuhan yang optimal.

2.3. Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan mengacu pada proses mengidentifikasi spesifikasi yang diperlukan yang harus dipenuhi oleh sistem yang akan dikembangkan. Analisis ini, yang dilakukan setelah pengumpulan data, memeriksa kebutuhan spesifik sistem, termasuk sensor, perangkat keras, dan perangkat lunak yang perlu dikembangkan untuk manajemen sistem yang efektif. Informasi dari setiap sensor akan ditampilkan pada LCD, termasuk data dari DHT11, pH, TDS, DS18B20, ultrasonik, sensor kelembapan tanah kapasitif, modul relai, dan bot Telegram.

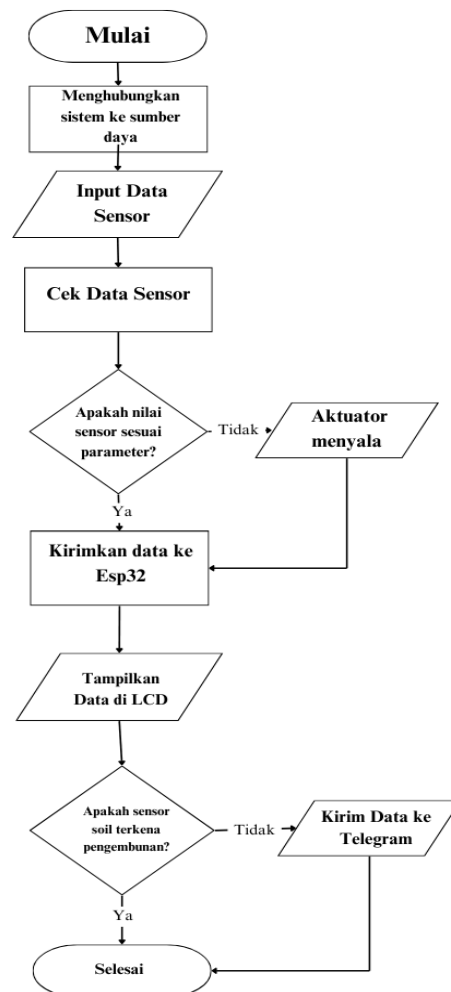
2.4. Perancangan Sistem

Sistem ini dirancang untuk berfungsi sebagai satu kesatuan yang terintegrasi, dengan berbagai komponen dan perangkat yang terhubung dengan mulus. Arsitektur perangkat keras keseluruhan dari sistem aeroponik, termasuk konektivitas dan integrasi berbagai sensor dan aktuator, tercakup dalam desain. Sensor DHT11 mendeteksi suhu udara, DS18B20 mengukur suhu air, sensor ultrasonik memantau ketinggian air, sensor TDS mengevaluasi konsentrasi nutrisi, sensor pH menilai keasaman larutan, dan sensor kelembapan tanah kapasitif mengatur penyemprotan nutrisi. Modul relai mengendalikan daya aktuator, semuanya dalam satu sistem terpadu. Arsitektur perangkat keras lengkap diilustrasikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Perancangan Keseluruhan Perangkat Keras Sistem

Setelah sistem terhubung ke sumber daya, sistem otomasi aeroponik mengumpulkan data dari berbagai sensor. Data sensor kemudian dianalisis untuk memastikan bahwa nilai yang diukur selaras dengan spesifikasi yang telah ditetapkan sebelumnya. Jika tidak sesuai, aktuator akan menyala untuk menyesuaikan kondisi. Jika sesuai, data sensor dikirimkan ke ESP32 untuk pengolahan lebih lanjut. Data tersebut kemudian ditampilkan pada layar LCD. Setelah itu, sistem memeriksa apakah sensor soil terkena pengembunan. Jika sensor soil tidak mendeteksi pengembunan, data akan dikirimkan ke Telegram sebagai notifikasi. Proses ini berakhir setelah data berhasil dikirimkan. Diagram alir untuk sistem otomasi aeroponik digambarkan dalam Gambar 3.



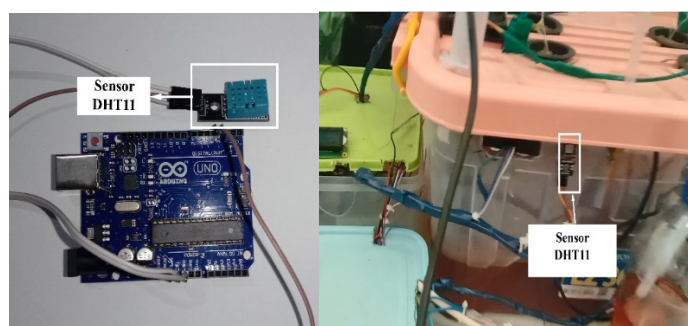
Gambar 3. Diagram Alir Sistem Otomatisasi Aeroponik

2.5. Implementasi

Keluaran dari setiap sensor dan komponen sistem aeroponik dihubungkan ke mikrokontroler, yang memungkinkan sistem untuk menyesuaikan pengaturannya dan menampilkan data sensor sebagaimana mestinya.

2.5.1. Implementasi Sensor Suhu DHT11

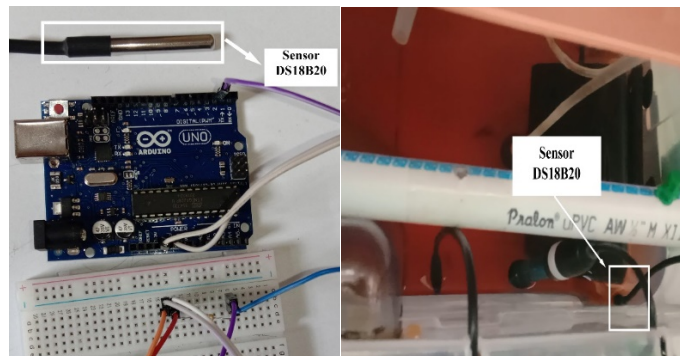
Suhu sekitar sistem aeroponik dipantau menggunakan sensor DHT11. Sensor ini menghasilkan sinyal digital dan memiliki rentang suhu 0°C hingga 50°C , dengan akurasi minimum $\pm 1^{\circ}\text{C}$ dan maksimum $\pm 2^{\circ}\text{C}$, yang menawarkan resolusi 8-bit [7]. Gambar 4 mengilustrasikan penerapan sensor suhu DHT11.



Gambar 4. Implementasi Sensor Suhu DHT11

2.5.2. Implementasi Sensor Suhu DS18B20

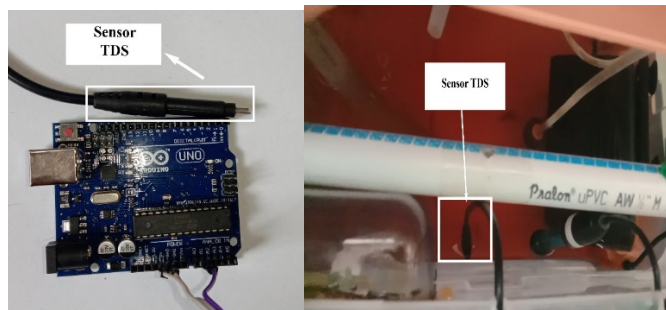
Untuk memantau suhu air dalam sistem aeroponik, digunakan sensor suhu DS18B20. DS18B20 adalah jenis sensor suhu keluaran digital yang mampu mengukur suhu antara -10°C dan $+85^{\circ}\text{C}$, dengan akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Tidak seperti sensor suhu tradisional yang memerlukan beberapa port dan ADC, DS18B20 berkomunikasi dengan mikrokontroler hanya menggunakan satu kabel (protokol 1-kabel) [8]. Implementasi sensor suhu DS18B20 ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Implementasi Sensor Suhu DS18B20

2.5.3. Implementasi Sensor TDS

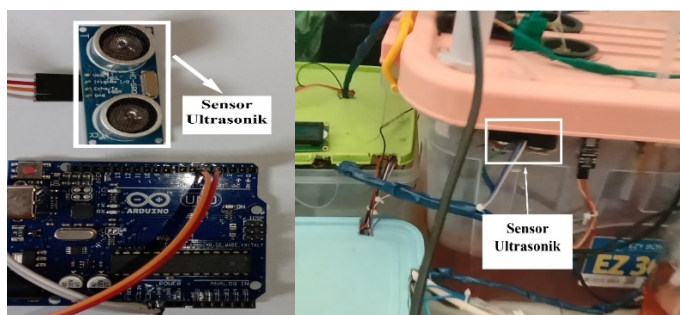
Implementasi sensor TDS digunakan untuk memantau nilai larutan nutrisi dalam sistem aeroponik. Sensor TDS terdiri dari probe yang ditempatkan di dalam air untuk mendeteksi konsentrasi zat terlarut dan modul elektronik yang mengubah sinyal dari probe menjadi nilai TDS yang dapat dibaca oleh mikrokontroler. Kualitas air dapat dinilai menggunakan sensor TDS, yang mengukur konsentrasi zat terlarut dalam air. [9]. Gambar 6 menunjukkan bagaimana sensor TDS diimplementasikan dalam sistem.



Gambar 6. Implementasi Sensor TDS

2.5.4. Implementasi Sensor ultraasonik

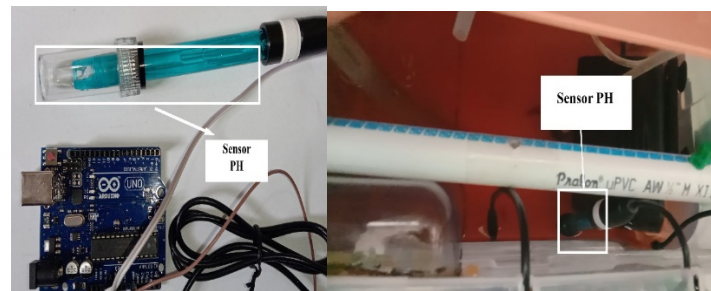
Untuk menilai tingkat air dalam sistem aeroponik, sensor ultrasonik digunakan. Sensor ini terdiri dari dua komponen melingkar yang memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk mengukur jarak dan modul yang dilengkapi dengan chip yang menghasilkan sinyal 40 kHz. Sensor berfungsi dengan mengubah sinyal listrik menjadi pengukuran fisik dan sebaliknya. Sensor bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik (bertindak sebagai pemancar) dan kemudian menangkap gelombang yang dipantulkan kembali dari objek yang diukur. Sensor ini memiliki empat pin utama: ground (GND), echo (Echo), trigger (Trig), dan power (VCC) [10]. Gambar 7 mengilustrasikan aplikasi sensor ultrasonik.



Gambar 7. Implementasi Sensor ultrasonik

2.5.5. Implementasi Sensor PH

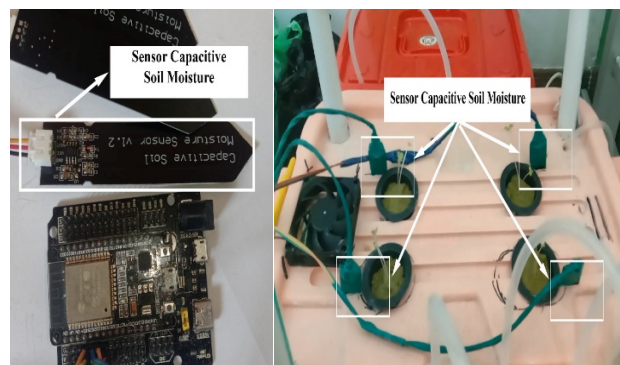
Dalam sistem aeroponik, sensor pH sangat penting untuk memantau dan menjaga keseimbangan keasaman dalam larutan nutrisi. Sensor ini adalah pH meter analog yang dirancang khusus untuk mengukur tingkat pH larutan, yang menunjukkan keasaman atau alkalinitasnya. Skala pH, yang berkisar dari 0 hingga 14, tidak mutlak, karena nilainya dapat bervariasi tergantung pada faktor lingkungan [11]. Sensor tersebut menggunakan Analog-to-Digital Converter (ADC) untuk mengubah tegangan analog yang dihasilkan oleh probe menjadi sinyal digital yang dapat diinterpretasikan oleh mikrokontroler. Gambar 8 menunjukkan aplikasi praktis dari sensor pH.



Gambar 8. Implementasi Sensor PH

2.5.6. Implementasi Sensor Capacitive Soil Moisture

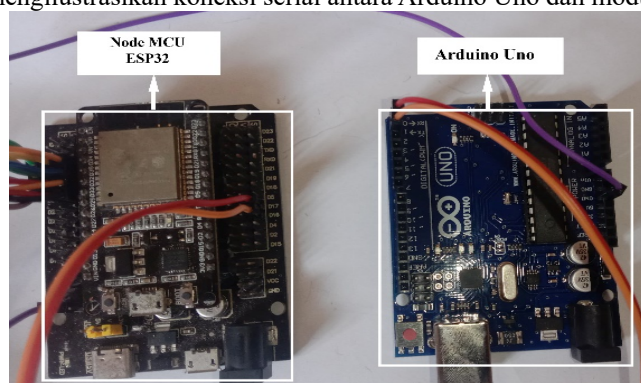
Dalam sistem aeroponik, setiap tanaman menerima jumlah air yang diperkaya nutrisi yang sesuai melalui pengkabutan, yang difasilitasi oleh sensor kelembapan tanah kapasitif, yang juga memberi tahu pengguna ketika tanaman tidak terhidrasi dengan baik. Sensor ini menghasilkan tegangan analog mulai dari 3,3 hingga 5,5 volt, yang memungkinkannya untuk mengukur kadar air tanah. Mikrokontroler menggunakan Analog-to-Digital Converter (ADC) untuk mengubah tegangan analog menjadi nilai digital [12]. Gambar 9 memberikan representasi visual tentang bagaimana sensor kelembapan tanah kapasitif diterapkan.



Gambar 9. Implementasi Sensor *Capacitive soil moisture*

2.5.7. Implementasi serial Arduino Uno dan ESP32

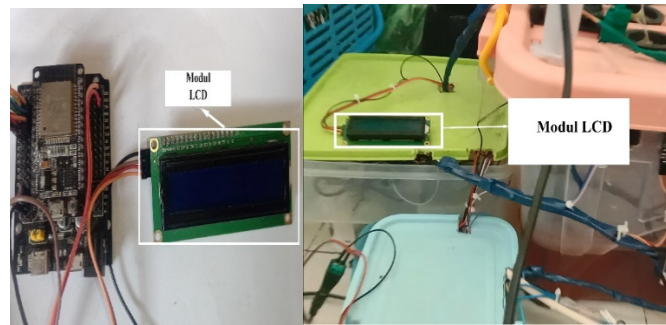
Untuk memungkinkan komunikasi antara kedua mikrokontroler, modul Arduino Uno dan ESP32 dihubungkan dalam pengaturan serial. Arduino Uno, yang dibangun di atas prosesor ATmega328, adalah papan mikrokontroler yang menawarkan enam masukan analog dan empat belas pin masukan/keluaran digital, enam di antaranya mampu menghasilkan PWM [13]. NodeMCU ESP32, yang dikembangkan oleh Expressive Systems, adalah versi lanjutan dari NodeMCU ESP8266, yang dirancang khusus untuk aplikasi Internet of Things (IoT). Pin analog dan digital tersedia di papan ESP32 [14]. Gambar 10 mengilustrasikan koneksi serial antara Arduino Uno dan modul ESP32.



Gambar 10. Implementasi Serial Arduino Uno dan ESP32

2.5.8. Implementasi Modul LCD

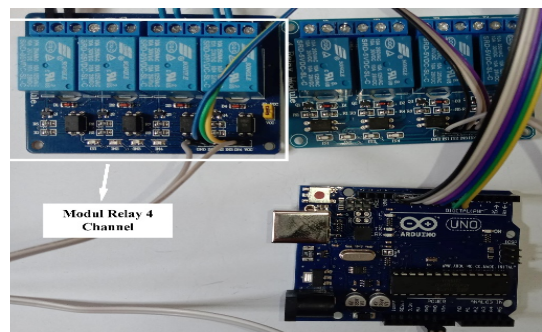
Implementasi modul LCD dalam sistem aeroponik digunakan untuk menyajikan berbagai data sensor, termasuk TDS, suhu air, suhu udara, level air, dan pH. Data ini sangat penting untuk memantau dan mengendalikan sistem. Karena tampilannya yang khas, LCD, atau layar kristal cair, digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi. LCD beroperasi dengan menggunakan kristal cair yang berubah bentuk saat dirangsang secara elektrik, sehingga memungkinkannya menampilkan karakter alfanumerik di layar [15]. Gambar 11 mengilustrasikan penerapan modul LCD.



Gambar 11. Implementasi modul LCD

2.5.9. Implementasi Modul Relay

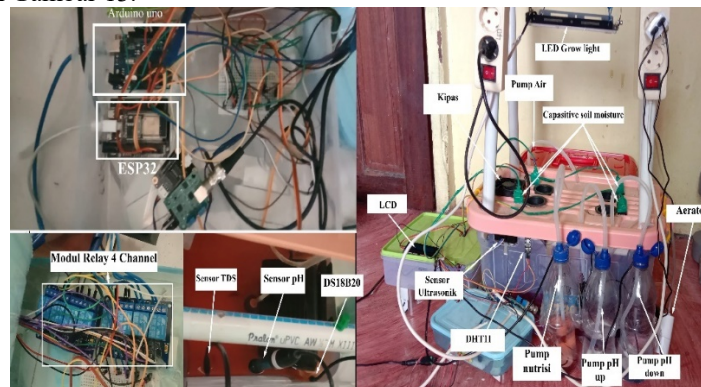
Implementasi modul relay digunakan untuk mengendalikan berbagai komponen dalam sistem aeroponik otomatis. Untuk memastikan kinerja sistem yang optimal, modul relai mengendalikan beberapa komponen dalam sistem aeroponik otomatis, seperti kipas, aerator, pompa air, pompa pH, pompa nutrisi, dan lampu LED untuk menanam tanaman. Modul ini menggunakan daya listrik untuk beralih antara status ON dan OFF, mengendalikan kontaktor berdasarkan prinsip elektromagnetik [16]. Gambar 12 menunjukkan penerapan modul relai.



Gambar 12. Implementasi Modul Relay

2.5.10. Implementasi Keseluruhan Sistem

Mikrokontroler mengumpulkan data dari setiap sensor dan komponen dalam sistem aeroponik, yang memungkinkan tampilan informasi sensor dan manajemen operasi sistem. Arsitektur keseluruhan sistem otomasi aeroponik digambarkan dalam Gambar 13.



Gambar 13. Implementasi Keseluruhan Sistem Otomatisasi Aeroponik

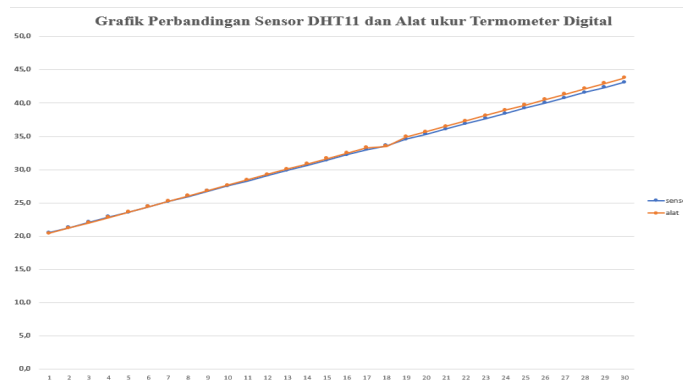
2.6. Pengujian sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memperoleh data yang akurat untuk setiap sensor dan untuk memverifikasi apakah semua komponen berfungsi sebagaimana mestinya, guna memastikan keandalan sistem.

3. Hasil Dan Pembahasan

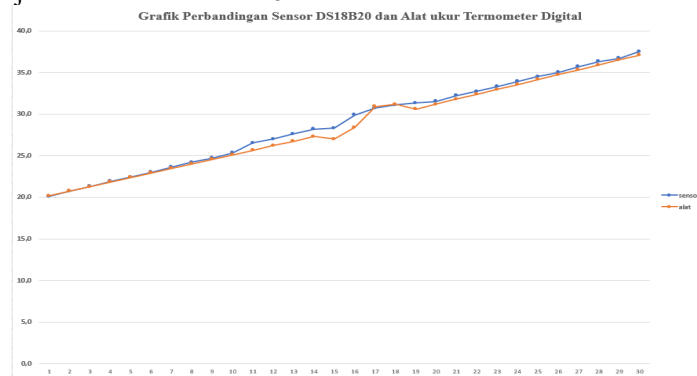
3.1. Pengujian Akurasi Sensor

Berdasarkan data suhu udara, sensor yang digunakan menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi, dengan rata-rata 99,24% Selisih antara nilai alat ukur dan nilai sensor (galat absolut) sebagian besar berada di bawah $0,5^{\circ}\text{C}$, yang menandakan presisi yang baik. Gambar 14 merupakan gambar perbandingan akurasi sensor DHT11.



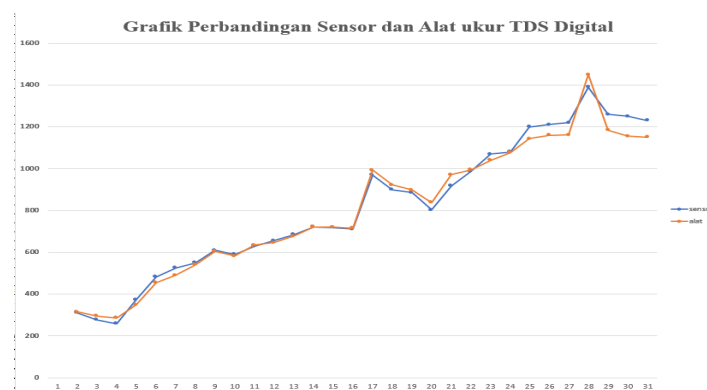
Gambar 14. Grafik Perbandingan Akurasi Sensor DHT11

Pengujian suhu air melibatkan perbandingan pembacaan dari termometer digital dan sensor DS18B20. Setelah 30 kali uji coba pada berbagai suhu air, sensor DS18B20 mencapai tingkat akurasi 98,63%. Grafik yang membandingkan akurasi sensor DS18B20 ditunjukkan dalam Gambar 15.



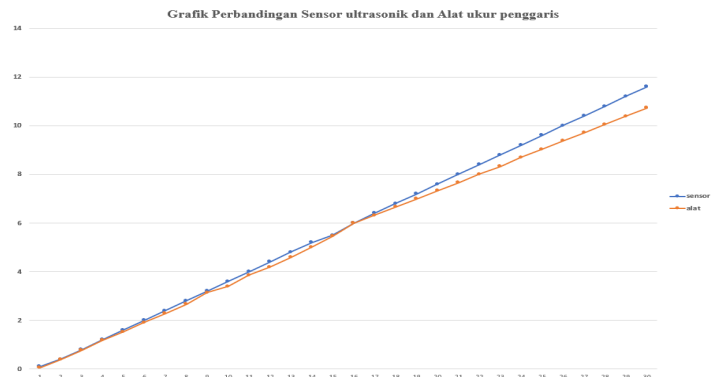
Gambar 15. Grafik Perbandingan Akurasi Sensor DS18B20

Pengujian konsentrasi nutrisi membandingkan data dari sensor TDS dengan pembacaan dari meteran TDS digital. Setelah 30 kali uji coba pada berbagai tingkat TDS, sensor TDS mencapai tingkat akurasi 96,5%. Grafik yang membandingkan keakuratan sensor TDS ditampilkan pada Gambar 16.



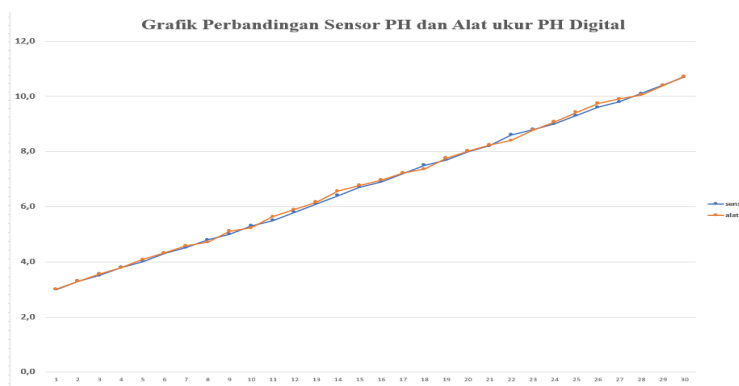
Gambar 16. Grafik Perbandingan Akurasi Sensor TDS

Pengujian level air membandingkan pengukuran yang diperoleh dari sensor ultrasonik dengan pengukuran yang dilakukan menggunakan penggaris. Sensor ultrasonik menunjukkan tingkat keakuratan sebesar 94,2% setelah 30 kali uji coba pada level air yang berbeda. Grafik yang membandingkan keakuratan sensor ultrasonik disajikan pada Gambar 17.



Gambar 17. Grafik Perbandingan Akurasi Sensor Ultrasonik

Pengujian nilai pH membandingkan pembacaan pH meter digital dengan pembacaan sensor pH. Setelah 30 kali uji coba pada level pH yang berbeda, sensor pH mencapai tingkat keakuratan sebesar 98,88%. Grafik yang membandingkan keakuratan sensor pH ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Grafik Perbandingan Akurasi Sensor Ph

3.2. Pengujian Kinerja Sistem

Pengujian dilakukan pada sensor capacitive soil moisture pada lubang penanaman yang diatur untuk terkena pengembunan atau tidak. Hasil pengukuran sensor capacitive soil moisture akan menghasilkan memunculkan notifikasi pada telegram. Tabel 1 merupakan tabel pengujian capacitive soil moisture.

Tabel 1. Pengujian Capacitive Soil Moisture

No	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Notifikasi
1	kering	basah	basah	basah	sensor 1 tidak mendapatkan air
2	basah	kering	basah	basah	sensor 2 tidak mendapatkan air
3	basah	basah	kering	basah	sensor 3 tidak mendapatkan air
4	basah	basah	basah	kering	sensor 4 tidak mendapatkan air
5	kering	kering	basah	basah	sensor 1 dan 2 tidak mendapatkan air
6	kering	basah	kering	basah	sensor 1 dan 3 tidak mendapatkan air
7	kering	basah	basah	kering	sensor 1 dan 4 tidak mendapatkan air
8	basah	kering	kering	basah	sensor 2 dan 3 tidak mendapatkan air
9	basah	kering	basah	kering	sensor 2 dan 4 tidak mendapatkan air
10	basah	basah	kering	kering	sensor 3 dan 4 tidak mendapatkan air
11	kering	kering	kering	basah	sensor 1,2, dan 3 tidak mendapatkan air
12	kering	kering	basah	kering	sensor 1,2, dan 4 tidak mendapatkan air
13	kering	basah	kering	kering	sensor 1,3, dan 4 tidak mendapatkan air
14	basah	kering	kering	kering	sensor 2,3, dan 4 tidak mendapatkan air
15	kering	kering	kering	kering	sensor 1,2,3, dan 4 tidak mendapatkan air

Pengujian Keseimbangan pH dilakukan untuk memastikan apakah sistem monitoring dan kontrol pH dapat bekerja sesuai dengan yang di harapkan. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali dengan memanipulasi kondisi pH pada sistem aeroponik agar memenuhi kondisi aktifnya pump pH up dan pump pH down. Pengujian ini melibatkan pengujian sensor pH, aktuator pump ph up dan pump pH down. Hasil pengujian diambil setiap rentang waktu 5 menit. Hasil pengujian keseimbangan pH dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Keseimbangan PH

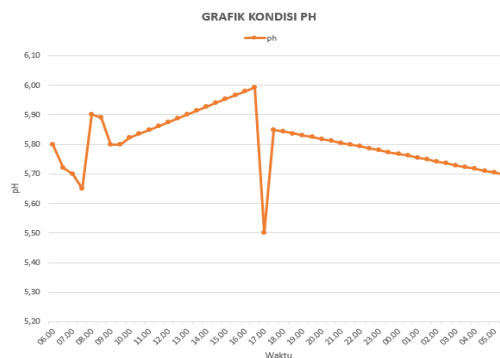
No.	1	2	3	...	15	16	17	18	...	28	29	30
Jam	14.17	14.22	14.27	...	15.27	15.32	15.37	15.42	...	16.32	16.37	16.42
Ph	7,6	7,43	7,24	...	5,38	5,45	5,71	5,71	...	5,67	5,67	5,65
Pomp pH Up	mati	mati	mati	...	hidup	hidup	mati	mati	...	mati	mati	mati
Pom pH Down	hidup	hidup	hidup	...	mati	mati	mati	mati	...	mati	mati	mati

Pengujian Keseimbangan suhu udara dan air dilakukan untuk memastikan apakah sistem monitoring dan kontrol suhu dapat bekerja sesuai dengan yang di harapkan. Dengan menggunakan sensor seperti DHT11 dan DS18B20, tiga puluh kali uji coba dilakukan untuk menilai penurunan suhu yang disebabkan oleh kipas dan aerator. Pengukuran dilakukan pada interval 5 menit. Tabel 3 merangkum hasil eksperimen kesetimbangan suhu untuk udara dan air.

Tabel 3. Pengujian Keseimbangan Suhu Udara Dan Air

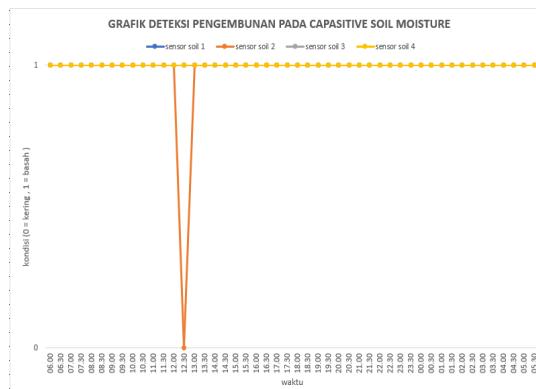
No.	1	2	3	...	21	22	23	...	27	28	29	30
Jam	11.50	11.55	12.00	...	13.30	13.35	13.40	...	14.00	14.05	14.10	14.15
Suhu Udara	34,2	34,1	34,1	...	33,1	33,1	33,1	...	33	33	32,9	32,9
Suhu Air	31,7	31,3	31	...	29,9	29,9	30,1	...	29,8	29,8	29,8	29,9
Kipas	hidup	hidup	hidup	...	hidup	hidup	hidup	...	mati	mati	mati	mati
Aerator	hidup	hidup	hidup	...	mati	mati	hidup	...	mati	mati	mati	mati

Penelitian dilakukan setiap rentang 30 menit dalam 1 hari. Grafik ini menunjukkan bahwa pH larutan nutrisi bervariasi dalam rentang yang dapat diterima yaitu di antara 5,5 – 5,99, yang dimana rentang yang ideal untuk pH Tanaman sawi adalah berkisar di 5,5 – 6,5 menunjukkan sistem dapat menjaga pH dengan stabil untuk tanaman. Gambar 19 merupakan grafik kondisi pH.



Gambar 19. grafik kondisi pH

Grafik ini menunjukkan status kelembaban untuk setiap sensor. Pada jam 12:30, sensor 2 menunjukkan status “kering”, sementara sensor lainnya tetap menunjukkan status “basah”. Status “kering” pada sensor 2 menunjukkan adanya masalah pada sistem pengairan karena sprinkler yang tersumbat. Notifikasi yang diterima melalui Telegram pada jam 12:30 mengonfirmasi masalah ini. Gambar 20 merupakan grafik deteksi pengembunan pada capacitive soil moisture.



Gambar 20. Grafik Deteksi Pengembunan Pada Capacitive Soil Moisture

Manfaat penggunaan sistem aeroponik bagi masyarakat antara lain efisiensi penggunaan air yang lebih tinggi dibandingkan metode pertanian konvensional, yang sangat penting di daerah dengan ketersediaan air terbatas. Sistem ini juga memungkinkan penggunaan lahan secara lebih efisien, karena tanaman dapat ditanam secara vertikal, menghemat ruang, dan memungkinkan budidaya di area perkotaan atau daerah dengan lahan terbatas. Selain itu, sistem aeroponik meningkatkan produktivitas dengan mempercepat pertumbuhan tanaman dan menghasilkan panen lebih banyak dalam waktu singkat. Penggunaan pestisida dan herbisida dapat dikurangi karena tanaman tumbuh dalam lingkungan terkendali, mengurangi risiko serangan hama dan penyakit. Tanaman juga menerima nutrisi secara langsung ke akar dalam bentuk yang lebih mudah diserap, menghasilkan produk dengan kualitas nutrisi yang lebih tinggi. Terakhir, integrasi teknologi IoT memungkinkan pemantauan dan pengendalian kondisi pertumbuhan tanaman secara real-time, meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem pertanian.

4. Kesimpulan dan Saran

Penggunaan sensor capacitive soil moisture yang terhubung ke jaringan IoT memungkinkan deteksi dini terhadap ketidakmerataan pengembunan air nutrisi. Sistem ini secara efektif mengirim notifikasi melalui Telegram jika tidak terdeteksi penyiraman pada sensor, yang dapat mengindikasikan adanya masalah seperti penyumbatan pada sprinkler. Sistem otomatis yang mengatur keseimbangan pH larutan nutrisi serta suhu air dan udara dalam rentang ideal terbukti efektif. Penggunaan pompa pH up dan pH down menjaga pH air pengembunan dalam rentang ideal 5,5-6,5, serta aerator dan kipas menjaga suhu air dan udara pada kondisi optimal. Ini memastikan bahwa tanaman sawi mendapatkan kondisi nutrisi dan lingkungan yang optimal untuk pertumbuhan, serta mengurangi risiko stres pada tanaman. Pengujian menunjukkan bahwa sensor suhu air, suhu udara, kandungan nutrisi (TDS), tinggi air, dan pH memiliki tingkat akurasi yang tinggi, dengan akurasi masing-masing sensor berada di atas 94%. Hal ini memastikan bahwa data yang diperoleh dari sensor dapat diandalkan untuk pengambilan keputusan otomatis. Sistem aeroponik ini memberikan manfaat signifikan dalam mengatasi tantangan global terkait kebutuhan pangan, terutama dalam konteks pertanian urban dan keberlanjutan. Tanaman dapat tumbuh lebih cepat meskipun di dalam ruangan, memungkinkan produksi pangan di lingkungan yang terbatas. Penggunaan LED Grow Lights sebagai pengganti sinar matahari memberikan keuntungan tambahan dengan memungkinkan pertumbuhan tanaman di area tanpa akses langsung ke cahaya alami. Meskipun LED tidak sepenuhnya meniru spektrum cahaya matahari, teknologi LED dapat disesuaikan untuk menghasilkan panjang gelombang cahaya yang diperlukan oleh tanaman untuk fotosintesis, yang memungkinkan pertumbuhan optimal. Pemilihan model LED yang sesuai, seperti LED dengan spektrum merah dan biru, telah terbukti mendukung pertumbuhan tanaman secara efisien, dengan LED merah mendukung proses berbunga dan pembentukan buah, sementara LED biru mendukung pertumbuhan daun dan struktur tanaman.

Daftar Pustaka

- [1] Demfarm, "Pertanian Berkelanjutan di Era Digital: Peran IoT dan Sensor dalam Pertanian Cerdas," *demfarm*, 2023. <https://www.demfarm.id/pertanian-berkelanjutan-di-era-digital-peran-io-t-dan-sensor-dalam-pertanian-cerdas> (accessed Apr. 24, 2024).
- [2] D. Afrillia, "Mengenal Aeroponik, Sistem Pertanian di Udara yang Cocok untuk Masyarakat Perkotaan," *goodnewsfromindonesia.id*, 2022. <https://www.goodnewsfromindonesia.id/2022/07/06/mengenal-aeroponik-sistem-pertanian-di-udara-yang-cocok-untuk-masyarakat-perkotaan> (accessed Apr. 24, 2024).
- [3] A. A. A'ina, C.-L. Lee, S.-K. Wong, A. F. A. Osman, Z.-L. Sum, and K.-Y. Chan, "The Effect of LED Grow Light Photoperiods on Indoor Hydroponic Lettuce Farming," *PLoS One*, vol. 13, no. 8, pp. 1–14, 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0202386.
- [4] M. Geovanie, I. Ruslianto, and U. Ristian, "Sistem Pemantauan dan Kendali Tanaman Kentang Media Aeroponik Berbasis Internet of Things," *J. Comput. Eng. Syst. Sci.*, vol. 8, no. 1, pp. 235–249, 2023.

-
- [5] P. Anugrah, "Pengendalian Otomatisasi Berbasis IoT untuk Sistem Aeroponik Horizontal," *Journals Telkom Univ.*, 2023.
- [6] N. Alfahira, D. Triyanto, and I. Nirmala, "SISTEM MONITORING DAN KENDALI TANAMAN HIDROPONIK INDOOR FARMING MENGGUNAKAN LED GROW LIGHT BERBASIS WEBSITE," *J. Bus. Theory Pract.*, vol. 10, no. 2, p. 6, 2021, [Online]. Available: http://www.theseus.fi/handle/10024/341553%0Ahttps://jptam.org/index.php/jptam/article/view/1958%0Ahttp://ejurnal.undana.ac.id/index.php/glory/article/view/4816%0Ahttps://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/23790/17211077_Tarita_Syavira_Alicia.pdf?
- [7] F. Wicaksono and Mochamad, "Implementasi Modul Wifi Nodemcu Esp8266 Untuk Smart Home," *J. Tek. Komput. Unikom-Komputika*, vol. 6, no. 1, pp. 9–14, 2017.
- [8] E. Nurazizah, M. Ramdhani, and A. Rizal, "Rancang Bangun Termometer Digital Berbasis Sensor DS18B20 Untuk Penyandang Tunanetra (Design Digital Thermometer Based on Sensor DS28B20 For Blind People)," *eProceedings Eng.*, vol. 4, no. 3, p. 3294, 2017.
- [9] C. N. Putra, Jayanta, and Y. Widiastiwi, "PENERAPAN LOGIKA FUZZY UNTUK MENDETEKSI KUALITAS AIR HIGIENE SANITASI MENGGUNAKAN METODE SUGENO (Studi Kasus : Air Tanah Kota Bekasi)," *Semin. Nas. Mhs. Ilmu Komput. dan Apl.*, pp. 693–706, 2020.
- [10] A. F. Adella, M. F. P. Putra, F. Taufiqurrahman, and A. B. Kaswar, "Pintu otomatis berbasis ultrasonic internet of things," *Media Elektr.*, vol. 17, no. 3, pp. 1–7, 2020.
- [11] A. Pratama, S. Bahri, and S. Suhardi, "Sistem Pemantauan Dan Pengontrolan Pada Tanaman Sawi Dan Ikan Nila Untuk Pola Cocok Tanam Akuaponik Berbasis Iot," *Coding J. Komput. dan Apl.*, vol. 10, no. 02, p. 298, 2022, doi: 10.26418/coding.v10i02.55722.
- [12] G. D. Utomo, D. Triyanto, and U. Ristian, "Sistem Monitoring Dan Kontrol Pembibitan," *J. Komput. dan Apl.*, vol. 09, no. 02, pp. 176–185, 2021.
- [13] A. Adriansyah and O. Hidyatama, "RANCANG BANGUN PROTOTIPE ELEVATOR MENGGUNAKAN MICROCONTROLLER ARDUINO ATMEGA 328P," *Mocaxue Xuebao/Tribology*, vol. 16, no. 3, pp. 235–238, 2013.
- [14] Solihin, "SISTEM MONITORING PH AIR DAN KONTROL POMPA AIR UNTUK PERSIAPAN PENYIRAMAN TANAMAN BERBASIS INTERNET OF THINGS (Studi Kasus: SMART GARDEN FMIPA UNTAN)," vol. 2, no. 4, pp. 1271–1280, 2021.
- [15] E. M. Perdana, Abdul Muid, and Y. Brianorman, "Rancang Bangun Pengukur Kadar Alkohol Berbasis Arduino," *Coding J. Komput. dan Apl.*, vol. 4, no. 2, 2016, doi: 10.26418/coding.v4i2.14827.
- [16] A. Razor, "Modul Relay Arduino: Pengertian, Gambar, Skema, dan Lainnya," *aldyrazor.com*, 2020. <https://www.aldyrazor.com/2020/05/modul-relay-arduino.html> (accessed Mar. 03, 2024).