

Implementasi Sistem IoT Pada Akuakultur dan Hydroponik (Akuaponik) Modern Untuk Pertumbuhan Ikan Nila

Bagas Setiawan^{1*)}, Styawati², Syahirul Alim³

¹²³Jurusan Teknik Komputer, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Teknokrat Indonesia, Bandar Lampung

¹²³Universitas Teknokrat Indonesia, Bandar Lampung

¹²³Jl. ZA. Pagar Alam No.9-11, Labuhan Ratu, Kec. Kedaton, Kota Bandar Lampung

email: ¹bagas_setiawan@teknokrat.ac.id, ²styawati@teknokrat.ac.id, syahirul_3alim@teknokrat.ac.id

Abstract – In modern times, there are many types of agricultural and fish farming systems, one of which is the modern aquaculture system which has been recognized as an innovative method of sustainable food production that combines fish cultivation with agriculture simultaneously. Modern aquaponics is able to overcome problems in urban areas which require land for growing crops and cultivating fish. Good fish cultivation means always monitoring the growth and health of fish to reduce the risk of crop failure, therefore this research aims to implement an Internet of Things (IoT) system in modern aquaponics to increase the growth of tilapia. IoT parameters consisting of pH sensors, Total Dissolved Solids (TDS) sensors, and temperature sensors are used to monitor water quality conditions in modern aquaponics. Through IoT systems, data collected in real-time enables more effective environmental monitoring. The creation of an IoT system in modern aquaponics shows that the implementation of IoT can increase the efficiency of modern aquaponic environmental management, resulting in better fish growth and plant productivity. This was verified through the pH sensor test results with a value of 7.2 indicating optimal conditions of acid-base balance in the water, which is essential for the health of tilapia fish. The TDS sensor test with a value of 300 ppm confirmed that the concentration of solid particles in the water was at an optimal level, which is also an indicator of the health of the tilapia fish. Temperature measurement using a temperature sensor with a value of 28°C, shows that the water temperature is within the ideal range for comfort for tilapia, which is usually comfortable at temperatures between 28-30°C.

Abstrak – Di zaman yang sudah modern terdapat banyak jenis sistem pertanian dan budidaya ikan salah satunya melalui sistem akuaponik modern yang sudah diakui sebagai metode inovatif dalam produksi pangan berkelanjutan yang menggabungkan budidaya ikan dengan pertanian secara bersamaan. Akuaponik modern mampu mengatasi permasalahan di perkotaan yang membutuhkan lahan untuk bercocok tanam dan budidaya ikan. Budidaya ikan yang baik adalah selalu memantau pertumbuhan dan kesehatan ikan agar mengurangi resiko gagal panen, oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem Internet of Things (IoT) pada akuaponik modern untuk meningkatkan pertumbuhan ikan nila. Parameter IoT yang terdiri dari sensor pH, sensor Total Dissolved Solids (TDS), dan sensor temperatur digunakan untuk memantau kondisi kualitas air pada akuaponik modern. Melalui sistem IoT, data yang dikumpulkan secara real-time memungkinkan pemantauan lingkungan yang lebih efektif. Dengan dibuatnya sistem IoT pada akuaponik modern menunjukkan bahwa implementasi IoT dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan lingkungan akuaponik

*) penulis korespondensi: Bagas Setiawan
Email: bagas_setiawan@teknokrat.ac.id

modern, menghasilkan pertumbuhan ikan yang lebih baik dan produktivitas tanaman. Hal ini terverifikasi melalui hasil uji sensor pH dengan nilai 7,2 menunjukkan kondisi optimal keseimbangan asam-basa dalam air, yang esensial untuk kesehatan ikan nila. Uji sensor TDS dengan nilai 300 ppm menegaskan konsentrasi partikel padat dalam air pada level yang optimal, yang juga merupakan indikator kesehatan ikan nila. Pengukuran suhu menggunakan sensor temperature dengan nilai 28°C, menunjukkan bahwa suhu air berada dalam rentang ideal untuk kenyamanan ikan nila, yang biasanya nyaman pada suhu antara 28-30°C.

Kata kunci: Akuaponik modern, IoT, pemantauan, teknologi.

I. PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan di perkotaan adalah ketahanan pangan [1]. Seiring dengan peraturan yang ditetapkan oleh Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 17/PERMEN-KP/2020 Tentang Rencana Strategis Kementerian Kelautan dan Perikanan Tahun 2020-2024, menyatakan bahwa sasaran strategis pemenuhan konsumsi ikan per kilogram perkapita pada tahun 2020 ditargetkan sebesar 56,39 kilogram, dan pada tahun 2021 sebesar 58,08 kilogram. Tentunya dengan target tersebut dibutuhkan upaya untuk pasokan ikan ke masyarakat agar terpenuhi jumlah kecukupannya terutama pada daerah yang tidak memiliki wilayah tangkap (*land lock*) seperti laut. Alternatif sumber pasokan hasil perikanan diharapkan berasal dari aktifitas budidaya ikan air tawar melalui sistem budidaya ikan dalam empang atau akuaponik [2]. Budidaya dan pembesaran ikan air tawar umumnya membutuhkan lahan sebagai lokasi pengembangannya. Kebutuhan pangan semakin meningkat namun lahan sempit di perkotaan menjadi masalah bagi masyarakat kota karena tidak bisa berkebun dan beternak ikan. Satu-satunya pemanfaatan lahan sempit adalah melalui sistem akuaponik. Konsep dasar akuaponik adalah bahwa limbah yang dihasilkan oleh ikan (misalnya, kotoran ikan) menjadi sumber nutrisi bagi tanaman. Tanaman kemudian mengambil nutrisi tersebut, membersihkan air, dan mengembalikannya ke sistem akuakultur untuk digunakan kembali oleh ikan [3].

Salah satu jenis ikan yang mudah untuk di budidayakan dalam sistem akuaponik adalah ikan nila. Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) menjadi salah satu jenis ikan yang banyak dikonsumsi dan cukup ekonomis [4]. Ikan nila ini juga memiliki kandungan gizi yang dibutuhkan untuk tubuh

manusia seperti karbohidrat, protein, lemak, kalsium, fosfor, dan zat besi [5]. Selain itu, ikan nila turut menjadi salah satu komoditas unggul dalam program nasional [6]. Ikan menyumbang unsur N atau P dari feses dan sisa pakan ikan, bakteri mengubah sisa pakan dan feses ikan menjadi nitrat, zat yang berfungsi sebagai sumber *nutrient* bagi tanaman, sedangkan tanaman memasok air bebas gas beracun sisa metabolisme yang sangat diperlukan ikan piaraan selama masa pemeliharaan, melalui proses penggunaan nitrogen (NH₃-N, NO₂-N dan NO₃-N) serta karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan dari budidaya ikan. Ikan mengeluarkan 80-90% ammonia melalui proses osmoregulasi sedangkan feses dan urin mengeluarkan 10–20% total amonia nitrogen. Total amonia-nitrogen (TAN) terdiri atas amonia tak terionisasi (NH₃) dan amonia terionisasi (NH₄) yang merupakan hasil dari metabolisme protein [7]. Selain lahan yang sempit di perkotaan untuk berbudidaya ikan nila, terdapat juga permasalahan yang dialami petani saat membudidayakan ikan nila baik skala besar atau dalam sistem akuaponik. Permasalahannya yaitu meliputi suhu air tawar yang tidak stabil untuk ikan nila sehingga pertumbuhan ikan nila terhambat. Kepekaan air akan nilai partikel padat dalam air harus stabil dan pH air dan tingkat kekeruhan air juga berpengaruh dalam tingkat pertumbuhan ikan nila [8].

Berdasarkan permasalahan yang telah dikemukakan, maka diperlukan pendekatan teknologi untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Teknologi yang digunakan berbasis IoT (*Internet of Things*) yang terpadu yaitu sistem monitoring dan kontroling untuk mendukung pertumbuhan ikan nila dalam sistem akuaponik modern. Sistem tersebut dilengkapi dengan sensor-sensor yang dapat mengukur pH air, suhu air, dan kepekatan air yang dapat dipantau secara realtime menggunakan perangkat mobile seperti smartphone berbasis *website*. Dengan adanya sistem monitoring dan kontroling dapat mempermudah para pembudidaya ikan dalam memantau dan mengambil tindakan lebih awal apabila kondisi air akuarium tidak normal, sehingga dapat mengurangi resiko gagal panen. Adapun selain teknologi IoT terdapat juga sistem portabel dalam menentukan posisi akuaponik ini (misalnya bisa di dalam atau di luar rumah).

II. PENELITIAN YANG TERKAIT

Banyak Studi yang telah dilakukan untuk memberikan solusi. Salah satu penelitian yang pernah dilakukan adalah Perancangan Sistem Smart Growbox, Sistem IoT yang menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler kemudian dipasangkan ethernet shield agar dapat berfungsi sebagai server cloud untuk sistem IoT-nya [9]. Penggunaan IoT dalam akuaponik menggunakan raspberry pi sebagai platform penunjang IoT-nya atau sebagai server penerima dari sensornya dan beberapa bantuan sensor lainnya sebagai pembacaan data, beberapa sensor yang digunakan seperti sensor cahaya, *ultrasonic*, suhu.[10]. Adapun Penelitian tentang Pengukuran pH dan suhu air dalam sistem IoT menggunakan sensor DS18B20. Sistem monitoring pH air pada akuaponik menggunakan Arduino uno yang tidak menggunakan sistem monitoring berbasis android [11]. Selain itu terdapat Penelitian Sistem Monitoring Jarak Jauh Pada Suhu

Kolam Ikan Nila Bangkok Memanfaatkan *Internet Of Things* (IoT) Berbasis Node mcu esp8266 dilakukan oleh [12]. Terdapat penelitian yang menggunakan sistem monitoring kualitas air pada kolam ikan air tawar berdasarkan pengukuran pH air, kekeruhan air, dan suhu air berbasis *website mobile* dengan menggunakan Arduino Uno dan wifi 8266 sebagai mikrokontoller [13]. Adapun penelitian tentang sistem ini dapat memantau kondisi air kolam secara otomatis dan real time menggunakan salah satu komputer mini yaitu Raspberry Pi dengan pengembangan teknologi *Internet of Things* [14]. Selain itu terdapat peneliti yang berkaitan yaitu teknologi IoT untuk monitoring kualitas air budidaya ikan lele dengan menggunakan sensor pH Meter dan sensor *waterproof* ds18b20 [15]. Perancangan Sistem Kendali Suhu, Dissolved Oxygen, Total Dissolved Solid Air Serta Pakan Ikan Pada Budidaya Aquaponik Ikan Nila menggunakan Esp8266 sebagai mikrokontroler dan sensor DS18B20 untuk mengukur suhu air [16]. Adapun Judul Penelitian *Automation of Aquaponic Choy Sum and Nile Tilapia Using Arduino Microcontroller* menggunakan alat-alat utama yang digunakan untuk membangun otomatisasi ini antara lain Arduino ESP-32, GY-302 *Ambient Light Intensity* Sensor, DFRobot *Gravity* Analog pH sensor, sensor suhu DS18B20, motor DC 3-6V DC R140, relay module6 Channel 12V, Modul RTC DS130 dan SR04 *ultrasonic* sensor [17].

III. METODE PENELITIAN

Penelitian akuaponik dilakukan oleh Fitri dkk yang berjudul "Kelola Lingkungan Melalui Edukasi Budidaya Aquaponik & Hidroponik Sebagai Alternatif Solusi Untuk Memanfaatkan Lahan Bagi Masyarakat Desa Perlang Bangka Belitung" pada penelitian tersebut dilakukan observasi selama 1x24 jam pada jum'at, 18 februari 2022 di provinsi bangka belitung yang merupakan daerah penghasil timah terbesar di indonesia. Desa perlang merupakan desa yang berada di kecamatan Lubuk Besar kepulauan Bangka Belitung. Desa Perlang memiliki sumber daya alam yang kaya dan beragam, antara lain sektor industri, pertanian, pertambangan, perikanan tangkap, budidaya perikanan, dan pariwisata. Menurut UU No. 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup [18]. Lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda serta kesatuan makhluk hidup termasuk di dalamnya manusia dan perilakunya yang melangsungkan perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lainnya. Manusia sebagai penguasa lingkungan hidup di bumi berperan besar dalam menentukan kelestarian lingkungan hidup [19]. Oleh karena itu pada penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa desa tersebut memiliki potensi lahan untuk pembuatan akuaponik namun masyarakat diharapkan memiliki inovasi untuk mengembangkan hidroponik atau akuaponik ditaraf yang lebih modern untuk mendukung perekonomian serta kebutuhan pangan masyarakat desa perlang dimasa yang akan datang. Berdasarkan pada permasalahan tersebut maka membutuhkan teknologi IoT untuk menyelesaikan permasalahan dan persoalan dari hasil observasi yang dilakukan dan mendukung program indonesia untuk revolusi industri 4.0 yang juga disampaikan oleh menteri perindustrian Airlangga Hartarto. Beliau mengatakan, Indonesia dapat bersaing dengan negara lain di bidang industri, Indonesia juga harus mengikuti tren.

“Revolusi Industri 4.0 merupakan upaya transformasi menuju perbaikan dengan mengintegrasikan dunia online dan lini produksi di industri, dimana semua proses produksi berjalan dengan internet sebagai penopang utama” [20].

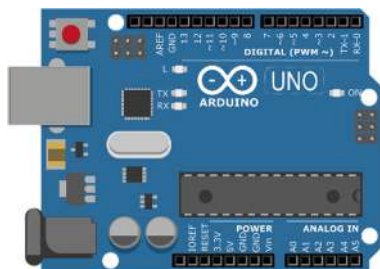
Pada perancangan perangkat keras dimulai dengan pembuatan modul NFT (*Nutrient film engineering*). NFT adalah sebuah sistem yang menggunakan ‘film’ larutan nutrisi. Film atau lapisan tipis tersebut berupa larutan nutrisi setebal 1-3 mm, dipompa dan dialirkan melewati akar tanaman secara terus menerus dengan kecepatan aliran sekitar 1-2 liter per menit [21]. Menurut S. Wibowo and A. Asriyanti semakin miring talangnya maka produktivitas tanaman semakin besar. Kelebihan menggunakan metode ini antara lain dapat memudahkan pengendalian daerah perakaran tanaman, kebutuhan air terpenuhi dengan baik dan mudah, keseragaman nutrisi dan tingkat konsentrasi larutan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman dapat disesuaikan dengan umur dan jenis tanaman, low maintenance, relatif lebih terjaga dari hama dan penyakit serta tidak memerlukan pemupukan khusus. Sedangkan pada akuakultur penulis menggunakan metode sump filter untuk mengalirkan air kedalam tabung ember, namun mengganti camber dengan tabung ember kemudian air yang sudah mengalir ke tabung ember akan dipompa naik untuk mengalirkan air ke dalam pipa aquaponik [22].

Penelitian ini menggunakan *mikrokontoller* esp32 dan Arduino UNO serta beberapa sensor seperti, sensor pH, TDS, DS18B20. Terdapat juga beberapa komponen pendukung seperti, Power Supplay, StepDown, Relay, Heater Aquarium.



Gbr. 1 ESP 32.

Sebagai mikrokontroler ESP32 digunakan untuk mengendalikan berbagai perangkat elektronik dan sensor-sensor lainnya, seperti pada Gbr 1.



Gbr. 2 Arduino UNO.

Sebagai mikrokontroler Arduino UNO digunakan untuk mengirimkan nilai sensor pH ke ESP32, seperti pada Gbr 2.



Gbr. 3 Sensor pH..

Sensor ini digunakan untuk mengukur sejauh mana larutan bersifat asam atau basa dengan mengukur konsentrasi ion hidrogen (H+) dalam larutan. Kadar pH air yang optimal untuk habitat ikan nila diantara 6-8, seperti pada Gbr 3.



Gbr. 4 Sensor TDS.

Alat ini digunakan untuk mengukur kadar zat terlarut dalam air ikan nila. Konsentrasi TDS dapat menjadi indikasi penting tentang kebersihan dan kesehatan air. Kadar zat padat terlarut yang optimal untuk habitat ikan nila adalah + 300 ppm, seperti pada Gbr 4.



Gbr. 5 Sensor Suhu DS18B20.

Alat ini digunakan untuk mengukur suhu dalam air pada akuaponik untuk meningkatkan kelangsungan hidup ikan nila dan pertumbuhan ikan nila pada akuaponik, dengan memantau suhu dalam air yang sudah terfilter oleh ember filter dan akar tanaman, suhu yang optimal untuk habitat ikan nila adalah 28-35°C, seperti pada Gbr 5.



Gbr. 6 Heater Akuarium.

Alat ini digunakan untuk memanaskan air dalam akuarium sehingga Jika suhu ≤ 28 derajat selsius maka alat ini akan mengotimalkan sampai suhu ± 33 derajat selsius. Suhu yang tepat penting untuk kesehatan dan pertumbuhan ikan, seperti pada Gbr 6.



Gbr. 7 Relay.

Relay digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan aliran listrik pada suatu sirkuit ketika sinyal kontrol tertentu diterapkan padanya, seperti pada Gbr 7.



Gbr. 8 Stepdown LM2596.

Alat ini digunakan untuk menurunkan atau mengurangi tegangan input yang lebih tinggi menjadi tingkat tegangan output yang lebih rendah sesuai dengan konfigurasi yang diatur, seperti pada Gbr 8.



Gbr. 9 Power Supply.

Power Supply yang berfungsi sebagai sumpai semua daya keseluruhan dari komponen supaya rangkaian elektronika dapat bekerja. Power Suppy merupakan komponen penting dalam perancangan sebuah alat, seperti pada Gbr 9.



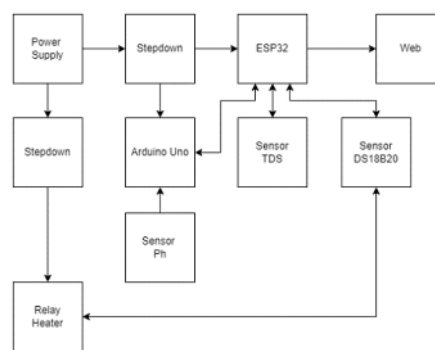
Gbr. 10 Arduino IDE.

Arduino IDE digunakan untuk membuat program pada sistem akuaponik modern ini, seperti, pada Gbr 10.



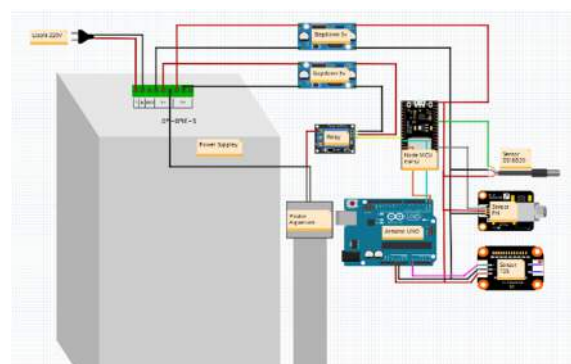
Gbr. 11 Fritzing.

Fritzing digunakan sebagai tempat untuk membuat skema rangkaian alat akuaponik modern, seperti pada Gbr 11.



Gbr. 12 Diagram Blok.

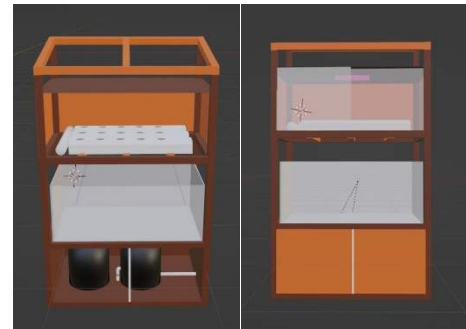
Blok Diagram adalah rangkaian yang menjelaskan secara garis besar dari perancangan pada penelitian ini. Mekanisme cara kerja alat untuk mencapai nilai pH, TDS, dan suhu air, seperti pada Gbr 12.



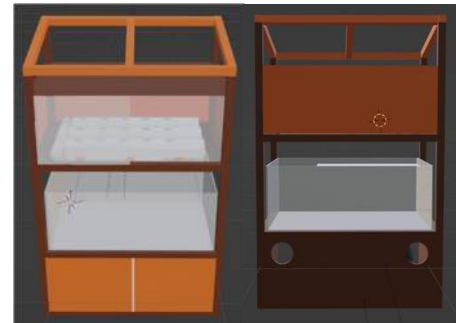
Gbr. 13 Rangkaian Alat.

Keterangan skematik rangkaian alat adalah sebagai berikut:

1. Power Supply 12V 20A digunakan sebagai alat pengubah arus AC menjadi DC.
2. Stepdown LM2596 digunakan sebagai penurun tegangan listrik.
3. NodeMCU ESP 32 digunakan sebagai mikrokontroler untuk dihubungkan ke sensor dan bergungsi sebagai penerima sinyal Wi-Fi yang dihubungkan pengguna dengan alat melalui jaringan internet.
4. Arduino UNO digunakan untuk mengirimkan data serial sensor Ph ke ESP32 agar nilai Ph dapat tampil di website.
5. Relay digunakan untuk saklar otomatis yang dikendalikan mikrokontroler.
6. Sensor pH digunakan untuk mendeteksi pH air pada akuarium ikan nila.
7. Sensor TDS digunakan untuk mendeteksi ppm air pada akuarium ikan nila.
8. Sensor DS18B20 digunakan untuk mengukur suhu pada air pada akuarium ikan nila.
9. Heater Akuarium digunakan sebagai pemanas air akuarium agar menstabilkan suhu air pada akuarium ikan nila.



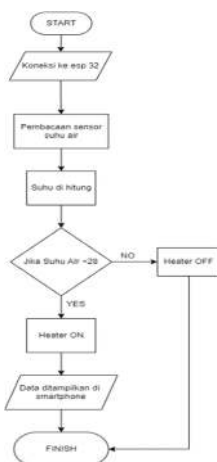
Gbr. 16 Deain Alat Tampak Depan Terbuka dan Tertutup.



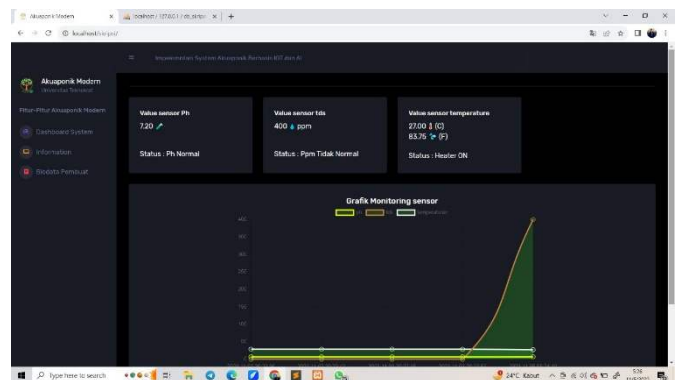
Gbr. 17 Desain Alat Tampak Atas dan Tampak Belakang.



Gbr. 14 Flowchart Cara Kerja Sistem Pada Proses Menampilkan Data Ke Smartphone.



Gbr. 15 Flowchart Cara Kerja Sistem Pada Proses Monitoring Suhu Pada Air Ikan Nila.



Gbr. 18 Tampilan Data Sensor Pada Web.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini penulis akan menjelaskan tentang hasil uji coba alat yang telah dirancang beserta pembahasan untuk mengetahui hasil dari rancangan alat dan implementasi yang dilakukan. Tabel dan pembahasan dibawah ini merupakan data dari sensor yang di terapkan dalam sistem IoT pada akuaponik modern:

Sensor pH digunakan untuk memantau kondisi lingkungan dalam sistem akuaponik ikan nila. Dengan pemantauan yang baik, kondisi lingkungan dapat dijaga dalam kisaran optimal untuk pertumbuhan dan kesehatan ikan dan tanaman. Pengujian sensor pH dilakukan selama 5 hari dengan pengambilan data sensor sehari satu kali yang dapat dilihat pada Tabel I.

TABEL I
HASIL UJI COBA SENSOR PH

Waktu Pengukuran	Nilai pH	Kondisi Ikan	Keterangan
Hari ke-1	7,2	Sehat	Ph dalam kisaran optimal.
Hari ke-2	7,5	Sehat	Sedikit peningkatan Ph, tetapi masih dalam kisaran baik.
Hari ke-3	7,8	Sehat	Ph terus meningkat, perlu tindakan.
Hari ke-4	8,1	Ikan stres	Ph terlalu tinggi, perlu penurunan segera.
Hari ke-5	7,7	Ikan pulih	Ph dikembalikan ke kisaran optimal.

Sensor TDS digunakan untuk mengukur partikel padat yang ada di dalam air ikan nila. Dengan pemantauan yang baik, kondisi air yang diberikan kepada ikan nila akan membuat pertumbuhan dan membuat ikan nila menjadi sehat. Pengujian sensor TDS dilakukan selama 5 hari dengan pengambilan data sensor sehari satu kali yang dapat dilihat pada Tabel II.

TABEL II
HASIL UJI COBA SENSOR TDS

Waktu Pengukuran	Nilai TDS (ppm)	Kondisi Ikan	Keterangan
Hari ke-1	300	Sehat	Tingkat TDS dalam Kisaran Optimal.
Hari ke-2	350	Sehat	Peningkatan dalam kisaran baik.
Hari ke-3	400	Ikan Stres	TDS meningkat, perlu penurunan segera.
Hari ke-4	380	Sehat	TDS menurun dalam kisaran baik.
Hari ke-5	300	Ikan Pulih	TDS dikembalikan ke kisaran optimal.

Sensor suhu DS18B20 digunakan untuk memantau dan mengendalikan suhu air dalam sistem akuaponik ikan nila dengan aksi heater saat suhu di bawah 28°C. Dengan pemantauan yang baik, suhu air dapat dijaga dalam kisaran optimal untuk pertumbuhan dan kesehatan ikan dan tanaman. Pengujian sensor DS18B20 dilakukan selama 5 hari yang dapat dilihat pada Tabel .

TABEL III
HASIL UJI COBA SENSOR DS18B20

Waktu Pengukuran	Suhu Air	Tindakan Heater	Kondisi Ikan	Keterangan
Hari ke-1	28 °C	Off	Sehat	Suhu air optimal tanpa pemanasan.
Hari ke-2	25 °C	On	Sehat	Suhu air terjun di bawah kisaran ideal. Heater diaktifkan.
Hari ke-3	28 °C	Off	Sehat	Suhu air telah diatur kembali ke kisaran optimal.
Hari ke-4	30 °C	Off	Sehat	Suhu air tetap dalam kisaran optimal tanpa pemanasan.

Hari ke-5	27 °C	On	Sehat	Suhu air kurang optimal. Heater diaktifkan.
-----------	-------	----	-------	---

V. KESIMPULAN

Penelitian ini telah menginvestigasi implementasi sistem Internet of Things (IoT) dalam budidaya akuaponik modern untuk meningkatkan pertumbuhan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dan produktivitas tanaman. Hasil penelitian ini mengungkapkan beberapa aspek penting yang dapat disimpulkan bahwa Implementasi sistem IoT dalam akuaponik memungkinkan pemantauan parameter lingkungan seperti suhu air, tingkat partikel terlarut dalam air, dan pH air secara real-time. Hal ini meningkatkan efisiensi pemantauan kondisi akuaponik. Dengan data yang dikumpulkan secara akurat, peternak dapat mengambil tindakan yang lebih cepat dan tepat saat ada perubahan dalam kondisi lingkungan. Pengendalian yang lebih baik membantu mencegah fluktuasi ekstrem yang dapat berdampak negatif pada pertumbuhan ikan dan tanaman. Dan implementasi IoT dapat membantu memastikan bahwa parameter lingkungan selalu berada dalam kisaran optimal sesuai dengan kebutuhan ikan nila dan tanaman. Hal ini berpotensi meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil pertanian. Penelitian ini juga mengonfirmasi bahwa teknologi IoT dapat berperan penting dalam meningkatkan keberlanjutan dalam budidaya akuaponik. Dengan menghindari pemborosan sumber daya dan mengurangi risiko terhadap lingkungan, akuaponik menjadi lebih ramah lingkungan. Sistem ini juga menjadi langkah awal yang menjanjikan dalam mengintegrasikan teknologi yang lebih canggih seperti kecerdasan buatan (AI) dan pembelajaran mesin (*machine learning*) dalam budidaya akuaponik. Ini memberi peluang untuk peningkatan lebih lanjut dalam budidaya akuaponik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Allah SWT yang telah membantu melancarkan perjalanan penelitian ini, semoga penelitian ini membawa manfaat dan perubahan positif. Terimakasih kepada kedua orang tua dan kekek nenek yang telah mendoakan dan mensupport dalam segala hal. Terimakasih kepada Universitas Teknokrat yang sudah membantu dalam pendanaan dan mendukung dalam penelitian ini dan Terimakasih kepada kaprodi S1 Teknik Komputer sekaligus dosen pembimbing dalam penelitian ini Terimakasih kepada tim yang sudah membantu dalam penelitian ini sehingga dapat selesai sesuai ekspektasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. S. Indraprahasta, "The Potential of Urban Agriculture Development in Jakarta," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 17, pp. 11–19, 2013, doi: 10.1016/j.proenv.2013.02.006.
- [2] M. F. Sukadi, "Peningkatan Teknologi Budidaya Perikanan," *J. ikhtologi Indones.*, vol. 2, no. 2, pp. 61–66, 2002.
- [3] V. F. Baldan, Sani Kamil., Umiati, "Pengembangan Desa Wisata melalui Gerakan Vertical Garden di Desa

- Pojok Sukoharjo,” *Pros. Semin. Nas. Pengabd. Masy. LPPM UMJ*, 24 Sept., pp. 3–4, 2019.
- [4] E. Marlina, J. Peternakan, P. Studi Budidaya Perikanan Politeknik Negeri Lampung JI Soekarno-Hatta Rajabasa no, and B. Lampung, “Prosiding Seminar Nasional Tahunan Ke-V Hasil-Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan KAJIAN KANDUNGAN AMMONIA PADA BUDIDAYA IKAN NILA (*Oreochromis niloticus*) MENGGUNAKAN TEKNOLOGI AKUAPONIK TANAMAN TOMAT (*Solanum lycopersicum*),” pp. 181–187, 2016.
- [5] Ramlah, S. Eddy, Z. Hasyim, and Hasan Munis Said, “Perbandingan Kandungan Gizi Ikan Nila *Oreochromis niloticus* Asal Danau Mawang Kabupaten Gowa dan Danau Universitas Hassanuddin Kota Makassar Comparison of Nutritional Content of Tilapia *Oreochromis niloticus* from Mawang’s Lake Gowa and Hassanuddin Univer,” *J. Biol. Makassar*, vol. 1, no. 1, pp. 39–46, 2016.
- [6] B. M. Hapsari, J. Hutabarat, and D. Harwanto, “Performa Kualitas Air, Pertumbuhan, dan Kelulushidupan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) pada Sistem Akuaponik dengan Jenis Tanaman yang Berbeda,” *Sains Akuakultur Trop.*, vol. 4, no. 1, pp. 78–89, 2020, doi: 10.14710/sat.v4i1.6425.
- [7] A. A. Jaya, P. Pertanian, and N. Pangkajene, “IbKIK BUDIDAYA IKAN NILA SISTEM AKUAPONIK,” vol. 2, no. 1, pp. 37–43, 2018.
- [8] Y. Irawan, A. Febriani, R. Wahyuni, and Y. Devis, “Water quality measurement and filtering tools using Arduino Uno, PH sensor and TDS meter sensor,” *J. Robot. Control*, vol. 2, no. 5, pp. 357–362, 2021, doi: 10.18196/jrc.25107.
- [9] W. Vernandhes, N. . Salahuddin, and A. Kowanda, “Smart Growbox Design With Temperature and Humidity Monitoring System Via the Internet,” *Teknoin*, vol. 22, no. 11, pp. 850–859, 2016, doi: 10.20885/teknoin.vol22.iss11.art6.
- [10] A. Dutta, P. Dahal, P. Tamang, E. Saban Kumar, and R. Prajapati, “IoT based Aquaponics Monitoring,” *Ist KEC Conf. Proc.*, no. September, pp. 75–80, 2018, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/327953706>
- [11] Y. Rahmanto, A. Rifaini, S. Samsugi, and S. D. Riskiono, “SISTEM MONITORING pH AIR PADA AKUAPONIK MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ARDUINO UNO,” *J. Teknol. dan Sist. Tertanam*, vol. 1, no. 1, p. 23, 2020, doi: 10.33365/jtst.v1i1.711.
- [12] G. Wilkins, “3 (1.2),” *New Oxford Shakespear. Mod. Crit. Ed.*, vol. 1, no. 1, pp. 2670–2672, 2016, doi: 10.1093/oseo/instance.00196643.
- [13] A. Supriyanto, A. Noor, and Y. Prastyaningsih, “Purwarupa Sistem Monitoring Kualitas Air pada Kolam Ikan Air Tawar Berbasis Aplikasi Web Mobile,” *84 Ultim.*, vol. XI, no. 2, pp. 84–88, 2019.
- [14] E. Rohadi *et al.*, “Sistem Monitoring Budidaya Ikan Lele Berbasis Internet Of Things Menggunakan Raspberry Pi,” *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 5, no. 6, p. 745, 2018, doi: 10.25126/jtiik.2018561135.
- [15] N. Fahmi and S. Natalia, “Sistem pemantauan kualitas air budidaya ikan lele menggunakan teknologi IoT,” *J. Media Inform. Budidarma*, vol. 4, no. 4, pp. 1243–1248, 2020, doi: 10.30865/mib.v4i4.2486.
- [16] S. Novanto, E. W. Sinuraya, M. T. M. Arfan, S. Kom, and M. Eng, “TOTAL DISSOLVED SOLID AIR SERTA PAKAN IKAN PADA BUDIDAYA AQUAPONIC IKAN NILA,” vol. 10, no. 3, pp. 102–111, 2022.
- [17] A. W. Atmaja, D. R. Sijabat, and F. E. Purwiantono, “Automation of Aquaponic Choy Sum and Nile Tilapia Using Arduino Microcontroller,” *J. Informatics Telecommun. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 301–309, 2021, doi: 10.31289/jite.v4i2.4395.
- [18] “Undang-undang (UU) Nomor 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup,” *peraturan.bpk.go.id*. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/46018/uu-no-23-tahun-1997>
- [19] E. F. Wardani, H. H. Bayu, L. U. Karimah, and M. L. Pahlevi, “AQUAPONIK & HIDROPONIK SEBAGAI ALTERNATIF BANGKA BELITUNG Bangka Belitung merupakan Lubuk Besar kabupaten Bangka Tengah sesuai dengan firman Allah Swt " Ingatlah ketika Tuhanmu berfirman kepada para Malaikat : " Sesungguhnya khalifah di muka bumi ". Merek,” vol. 5, pp. 1652–1658, 2022.
- [20] Aryyasanggra, “Revolusi Industri 4.0? Apa itu?,” *aryyasanggrazone.wordpress.com*, 2019. <https://aryyasanggrazone.wordpress.com/author/aryya-pradipta/page/4/>
- [21] A. N. Fuad and M. S. Zuhrie, “Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Pengontrolan PH Nutrisi Pada Hidroponik Sitem Nutrient Film Technique (NFT) Menggunakan Pengendali PID Berbasis Arduino Uno,” *J. Tek. Elektro*, vol. 8, no. 2, pp. 349–357, 2019.
- [22] S. Wibowo and A. Asriyanti, “Aplikasi Hidroponik NFT pada Budidaya Pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) Application of NFT Hydroponic on Cultivation of Pakcoy (*Brassica rapa chinensis*),” *J. Penelit. Pertan. Terap.*, vol. 13, no. 3, pp. 159–167, 2013.