

Smart Aquaponics: Iot-Integrated Biofiltration In NFT Systems For Sustainable Food Production

Muhammad Hassan Massaty¹⁾, Dimas Pamilih Epin Andrian²⁾, Slamet Kurniawan Fahrurrozi³⁾

^{1, 2)} Teknologi Informasi, Politeknik Nest

³⁾ Pendidikan Teknik Informatika dan Komputer, Universitas Sebelas Maret, Indonesia

¹⁾ muhammadhassan@politekniknest.ac.id, ²⁾ dimaspamilih@politekniknest.ac.id, ³⁾ skfahrurrozi@staff.uns.ac.id

ABSTRACT

*This study presents the design and evaluation of an IoT-enabled aquaponic system based on the Nutrient Film Technique (NFT) with integrated bio-mechanical filtration for sustainable food production. The main objective of this research is to analyze the impact of bio-mechanical filtration and IoT-based automation on water quality stability and the growth performance of *Oreochromis niloticus* and *Ipomoea aquatica*. The study employed an experimental quantitative method using three NFT system configurations: NFT 1 (100 fish with bio-mechanical filtration), NFT 2 (50 fish with bio-mechanical filtration), and NFT 3 (50 fish with mechanical filtration only). Automated monitoring was conducted using a NodeMCU microcontroller connected to pH, TDS, temperature, and water-level sensors, enabling real-time data acquisition through the ThingSpeak platform. Over a 30-day culture period, NFT systems with bio-mechanical filtration (NFT 1 and NFT 2) maintained stable water quality (pH 6.0–6.8, TDS within tolerance), while NFT 3 exhibited sharp fluctuations and dissolved solids accumulation (up to 280 ppm). Plant growth (*Ipomoea aquatica*) was highest in NFT 1 (28.5 cm, 30.0 g), while NFT 3 performed poorest. *Tilapia* growth was also greatest in NFT 1 (50.3 g), though NFT 2 demonstrated superior feed efficiency. These findings highlight that the integration of IoT automation and bio-mechanical filtration plays a crucial role in stabilizing aquatic environments, enhancing system efficiency, and promoting sustainable food production through smart aquaponic technology.*

Kata kunci : aquaponics, biofiltration, internet of things, nft, food security

I. PENDAHULUAN

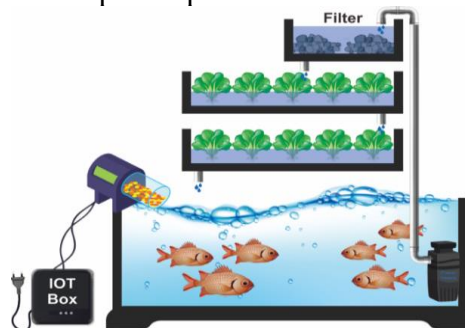
Ketahanan pangan merupakan tantangan global yang krusial dan kian diperparah oleh pesatnya pertumbuhan penduduk, berkurangnya lahan pertanian, serta dampak negatif perubahan iklim terhadap produktivitas pertanian (Rozci, 2024). Untuk mengatasi masalah ini memerlukan pengembangan sistem pertanian terpadu yang canggih untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya dan meminimalkan dampak lingkungan. Akuaponik merupakan salah satu pendekatan, yang menggabungkan akuakultur dan hidroponik dalam sistem resirkulasi tertutup sehingga memungkinkan siklus nutrisi yang efisien dan penghematan air (Stoyanova et al., 2024; Zainal et al., 2021; Zebua et al., 2024). Dalam sistem ini, limbah metabolisme ikan diubah oleh komunitas mikroba menjadi nutrisi yang dapat diserap oleh tanaman, sehingga mengurangi kebutuhan akan pupuk eksternal sekaligus menjaga kualitas air. Di antara berbagai metode akuaponik, *Nutrient Film Technique* (NFT) telah mendapatkan perhatian karena efisiensi penggunaan airnya, ketepatan dalam penyampaian nutrisi, serta kesesuaiannya untuk aplikasi pada lingkungan terkendali (Ninasari et al., 2024). NFT beroperasi dengan menyalurkan lapisan tipis air kaya nutrisi yang terus bersirkulasi, berasal dari tangki ikan, melintasi zona akar tanaman, sehingga meningkatkan penyerapan nutrisi sekaligus menjaga aerasi.

Sistem NFT menawarkan keunggulan tersendiri karena desainnya yang hemat lahan dan efisiensi penggunaan air yang tinggi, sehingga sangat cocok untuk lingkungan perkotaan dengan ruang terbatas atau area pemukiman yang padat penduduk (Mohapatra et al., 2020). Selain itu, skalabilitasnya memungkinkan untuk diimplementasikan pada tingkat

produksi kecil hingga menengah, sehingga memberikan solusi yang praktis dan adaptif bagi komunitas untuk meningkatkan ketahanan pangan lokal (Nuraisyah et al., 2025).

Namun, sistem akuaponik konvensional masih menghadapi beberapa tantangan teknis. Keterbatasan dalam filtrasi air dan tidak adanya pemantauan kualitas air yang andal seringkali menyebabkan penumpukan limbah organik, seperti amonia yang mengganggu stabilitas ekosistem serta menghambat pertumbuhan ikan dan tanaman (Debroy et al., 2025; Nagothu et al., 2025; Syaputra & Prawira, 2024). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) telah muncul sebagai solusi inovatif. Sistem kontrol berbasis IoT yang memanfaatkan mikrokontroler NodeMCU memungkinkan pemantauan dan pengelolaan operasi akuaponik secara otomatis dan hemat biaya (Iftikhar et al., 2023). Sistem ini dapat secara terus-menerus merekam dan mengatur parameter penting seperti suhu, pH, oksigen terlarut dan ketinggian air secara *real-time*, sehingga meningkatkan keandalan sistem dan keseimbangan ekologi (Setiawan et al., 2024).

Selain itu, integrasi filtrasi bio-mekanis dianggap sangat efektif dalam meningkatkan kualitas air dengan menyaring limbah organik dan mengurangi senyawa berbahaya (Abdulmouti et al., 2023; de Oliveira Demarco et al., 2023; Yusoff et al., 2024). Namun demikian, penerapan filtrasi bio-mekanis yang dikendalikan secara otomatis dalam sistem akuaponik berbasis NFT masih sangat terbatas, khususnya dalam konteks penelitian lokal (Seroja et al., 2024). Penerapan teknologi ini berpotensi secara signifikan meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem secara keseluruhan. Ilustrasi dari sistem otomatis berbasis IoT yang diusulkan ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem NFT Filtrasi Bio-Mekanis Terintegrasi IoT

Komoditas utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Ipomoea aquatica* (kangkung) dan *Oreochromis niloticus* (ikan nila), merupakan produk pangan harian yang banyak dikonsumsi di Indonesia dengan karakteristik siklus produksi yang singkat serta nilai ekonomi yang tinggi. Atribut tersebut menjadikannya sangat relevan, baik secara akademis maupun praktis dalam mendukung produksi pangan berkelanjutan di lingkungan perkotaan (Intania et al., 2024; Kusumanti et al., 2023). Penelitian ini selaras dengan *Sustainable Development Goal* (SDG) 2: *Zero Hunger* (Chen et al., 2023) melalui penerapan teknologi yang relevan dan dapat disesuaikan oleh masyarakat lokal.

Walaupun sejumlah penelitian terdahulu telah mengeksplorasi penerapan teknologi IoT dalam sistem akuaponik maupun efektivitas filtrasi bio-mekanis secara terpisah, integrasi keduanya dalam konfigurasi NFT dengan pendekatan otomatisasi adaptif masih jarang dikaji, khususnya dalam konteks penelitian lokal. Sebagian besar studi sebelumnya berfokus pada aspek pemantauan lingkungan atau optimasi nutrisi tanpa mengimplementasikan sistem pengendalian *real-time* yang responsif terhadap dinamika parameter air. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan sistem akuaponik NFT terintegrasi yang mampu melakukan pemantauan dan pengendalian otomatis berbasis NodeMCU serta filtrasi bio-mekanis untuk menjaga stabilitas ekosistem.

Dengan demikian, kontribusi ilmiah utama dari penelitian ini terletak pada pengembangan model sistem akuaponik cerdas yang efisien, berbiaya rendah, dan kontekstual dengan kebutuhan urban agriculture di Indonesia, sekaligus memperluas pemahaman ilmiah terkait penerapan otomasi dan biofiltrasi dalam pengelolaan sumber daya air berkelanjutan.

II. TINJUAN PUSTAKA

2.1 IoT in Aquaponics

IoT (*Internet of Things*) merupakan paradigma teknologi yang menghubungkan sensor, aktuator, dan perangkat komputasi untuk bertukar data secara real-time melalui internet. Dalam akuaponik, IoT berperan penting dalam memantau dan mengendalikan parameter kualitas air seperti pH, suhu, oksigen terlarut, dan TDS guna menjaga keseimbangan ekosistem ikan dan tanaman. Penelitian sebelumnya (Zamnuri, 2024; Debroy et al., 2025) menunjukkan bahwa penerapan IoT dapat meningkatkan efisiensi energi dan kestabilan lingkungan budidaya, meskipun sebagian besar masih terbatas pada fungsi pemantauan. Menjawab celah tersebut, penelitian ini mengimplementasikan sistem berbasis NodeMCU yang tidak hanya memantau, tetapi juga mengotomasi pompa, aerasi, dan filtrasi untuk mempertahankan kondisi optimal secara berkelanjutan dengan intervensi manusia yang minimal.

2.2 Biofiltration Mechanism

Biofiltrasi merupakan proses biologis yang mengonversi limbah nitrogen hasil metabolisme ikan, terutama amonia ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$), menjadi senyawa yang lebih aman melalui nitrifikasi oleh bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter/Nitrospira* yang mengubah amonia menjadi nitrat (NO_3^-) yang bermanfaat bagi tanaman. Kinerja biofilter sangat dipengaruhi oleh jenis media dan konfigurasi reaktor, di mana media berpori tinggi seperti bioball atau serat sintesis menunjukkan kolonisasi mikroba yang lebih baik dan stabilitas nitrifikasi lebih tinggi (Ahmed, 2024; Setiawan et al., 2024). Namun, sebagian besar penelitian masih bergantung pada pengaturan manual terhadap laju aliran dan beban amonia yang menyebabkan fluktuasi kualitas air. Penelitian ini menutup celah tersebut dengan menerapkan sistem biofiltrasi berbasis kontrol otomatis yang menyesuaikan debit dan durasi filtrasi secara dinamis melalui sensor IoT untuk menjaga keseimbangan biologis secara berkelanjutan.

2.3 NFT Configuration and Performance

Nutrient Film Technique (NFT) merupakan sistem hidroponik yang mengalirkan lapisan tipis larutan nutrisi secara kontinu melewati akar tanaman untuk menjaga keseimbangan oksigen dan nutrisi, dengan keunggulan efisiensi air dan struktur yang kompak untuk pertanian perkotaan. Konfigurasi vertikal NFT terbukti meningkatkan produktivitas tanaman hingga 25% dibanding sistem horizontal karena pemanfaatan ruang yang optimal (Palmitessa, 2024), sedangkan kecepatan aliran ideal berkisar antara 1–2 L/menit guna menjaga keseimbangan nutrisi dan aerasi (Ninasari et al., 2024). Namun, kendala seperti penumpukan sedimen dan fluktuasi tekanan pompa masih menjadi masalah utama (Mohapatra et al., 2020). Penelitian ini mengatasi keterbatasan tersebut melalui penerapan pengendalian berbasis sensor debit dan sistem otomatis untuk menjaga kestabilan aliran serta meningkatkan pertumbuhan biomassa tanaman secara konsisten.

2.4 Integration of IoT and Biofiltration in NFT Systems

Integrasi antara IoT dan biofiltrasi dalam sistem NFT menciptakan pendekatan *closed-loop control system* yang memungkinkan respons otomatis terhadap perubahan

kondisi lingkungan. Penelitian oleh **Kok (2024)** menunjukkan bahwa sistem yang menggabungkan sensor IoT (pH, suhu, TDS,) mampu mengoptimalkan nitrifikasi dan mencegah penyumbatan saluran NFT secara signifikan. Hasil tersebut diperkuat oleh **Iftikhar et al. (2023)** yang menekankan bahwa penerapan sistem kendali berbasis AI mampu menstabilkan variabel proses, meningkatkan efisiensi air sebesar 40%, dan mempercepat pertumbuhan tanaman hingga 18%. Namun, belum banyak penelitian yang mengintegrasikan **biofiltrasi mekanis dan kontrol IoT dalam sistem NFT** secara menyeluruh pada konteks tropis seperti Indonesia. Penelitian ini menawarkan kontribusi empiris baru dengan mengembangkan **model sistem IoT-biofiltrasi terintegrasi berbasis NodeMCU**, yang mampu melakukan pemantauan dan pengendalian real-time untuk meningkatkan kualitas air dan efisiensi produksi secara simultan.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di sebuah fasilitas *greenhouse* yang berlokasi di Desa Sedayu, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. Fasilitas tersebut dilengkapi dengan perangkat berbasis mikrokontroler, sensor IoT dan infrastruktur jaringan lokal, serta area uji semi-*outdoor* yang memungkinkan dilakukannya percobaan akuaponik dalam kondisi lingkungan yang realistis namun tetap terkontrol. Lokasi tersebut dipilih karena memiliki infrastruktur teknis yang memadai dan kesesuaian lingkungan, sehingga menjamin pelaksanaan kegiatan penelitian secara andal. Fasilitas *greenhouse* tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Fasilitas *greenhouse* yang dilengkapi dengan sensor IoT.

3.1 Metode dan Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menerapkan pendekatan eksperimen terkontrol (Waruwu et al., 2025) untuk mengevaluasi integrasi filtrasi bio-mekanis dan otomasi berbasis IoT terhadap kualitas air serta pertumbuhan *Oreochromis niloticus* dan *Ipomoea aquatica*. Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler NodeMCU yang terhubung dengan sensor suhu, pH, total dissolved solids (TDS), dan ketinggian air guna merekam data secara real-time dan mengirimkannya ke platform ThingSpeak untuk pemantauan serta analisis. Eksperimen dilaksanakan di *greenhouse* semi-*outdoor* dengan kondisi terkontrol, dikombinasikan dengan observasi harian terhadap kondisi fisik air, perilaku ikan, dan kesehatan tanaman untuk melengkapi data sensor. Pendekatan ini menghasilkan integrasi data kuantitatif dan kualitatif yang komprehensif, memberikan gambaran empiris mengenai efektivitas sistem akuaponik berbasis IoT dengan filtrasi bio-mekanis dalam mempertahankan stabilitas ekosistem dan mendukung produktivitas berkelanjutan.

3.2 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kuantitatif (Susanto et al., 2024) dan deskriptif-komparatif (Wardani, 2020) untuk menilai pengaruh integrasi filtrasi bio-mekanis dan otomasi berbasis IoT terhadap kualitas air serta pertumbuhan *Oreochromis niloticus* dan *Ipomoea aquatica*. Data sensor IoT dikumpulkan secara real-time melalui ThingSpeak, kemudian diolah menggunakan Microsoft Excel untuk menghasilkan tren, rata-rata, dan fluktuasi mingguan setelah proses pembersihan dan perhitungan statistik utama. Perbandingan dilakukan antara sistem dengan dan tanpa filtrasi bio-mekanis untuk menilai stabilitas ekosistem dan efektivitas pengendalian otomatis. Pertumbuhan ikan dianalisis berdasarkan bobot awal-akhir, sedangkan tanaman dievaluasi melalui tinggi dan bobot segar. Data kuantitatif ini dipadukan dengan observasi visual terhadap warna air, kesehatan tanaman, dan perilaku ikan, sehingga menghasilkan pemahaman menyeluruh mengenai kinerja sistem akuaponik NFT berbasis IoT yang efisien dan berkelanjutan.

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini dilakukan secara sistematis mulai dari perancangan hingga evaluasi untuk memastikan pengembangan sistem akuaponik berbasis IoT berjalan efektif. Proses dimulai dengan studi literatur, perancangan sistem NFT, pemilihan komponen seperti NodeMCU dan sensor (pH, TDS, suhu, ketinggian air), serta desain filtrasi bio-mekanis yang sesuai dengan karakteristik media budidaya. Setelah perakitan dan integrasi perangkat, seluruh sensor dikalibrasi menggunakan data standar laboratorium dan diuji fungsionalitasnya untuk memastikan sistem mampu melakukan pemantauan serta pengendalian otomatis. Pengumpulan data dilakukan selama delapan minggu melalui pencatatan otomatis di platform ThingSpeak dan observasi manual terhadap pertumbuhan ikan dan tanaman. Data dianalisis untuk melihat stabilitas kualitas air, pertumbuhan biomassa, dan efektivitas filtrasi bio-mekanis. Hasil akhir digunakan untuk mengevaluasi performa sistem serta menyusun rekomendasi pengembangan model akuaponik otomatis yang efisien dan mendukung ketahanan pangan berkelanjutan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengkaji pengaruh kepadatan ikan dan jenis filtrasi terhadap stabilitas kualitas air serta kinerja produksi, dirancang tiga konfigurasi sistem NFT secara paralel. Konfigurasi pertama (NFT 1) menggunakan 100 ekor ikan dengan sistem filtrasi bio-mekanis yang menggabungkan filter mekanis dan biofilter. Konfigurasi kedua (NFT 2) terdiri dari 50 ekor ikan dengan filtrasi bio-mekanis, sedangkan konfigurasi ketiga (NFT 3) mencakup 50 ekor ikan namun hanya menggunakan filter mekanis tanpa biofiltrasi. Selama periode observasi 30 hari, parameter utama yang dievaluasi meliputi pH air, dinamika padatan terlarut dalam larutan nutrisi, pertumbuhan biomassa *Ipomoea aquatica* berdasarkan tinggi tanaman dan bobot segar, serta kinerja pertumbuhan *Oreochromis niloticus* yang dinilai melalui bobot tubuh rata-rata. Data dikumpulkan secara berkala menggunakan kombinasi pengukuran langsung dan pencatatan otomatis berbasis IoT, sehingga memungkinkan analisis komprehensif terhadap stabilitas lingkungan pada setiap konfigurasi. Hasil penelitian difokuskan pada bagaimana variasi kepadatan ikan dan biofiltrasi berkontribusi terhadap efisiensi sistem secara keseluruhan, serta memberikan wawasan empiris mengenai peran biofiltrasi dalam menjaga kualitas air, meningkatkan kinerja pertumbuhan dan mendukung produksi akuaponik berkelanjutan.

4.1 Parameter pH

pH merupakan indikator penting dalam sistem akuaponik karena secara langsung memengaruhi kelangsungan hidup ikan, efisiensi biofiltrasi, serta ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Pada sistem NFT, kisaran pH optimal berada antara 6,5 hingga 7,0 yang mencerminkan keseimbangan antara kebutuhan fisiologis *Oreochromis niloticus*, aktivitas bakteri nitrifikasi, dan penyerapan nutrisi oleh *Ipomoea aquatica*. Oleh karena itu, pemantauan pH dilakukan setiap lima hari selama periode 30 hari menggunakan sensor digital yang terintegrasi dalam sistem IoT.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa NFT 1 (100 ekor ikan dengan filtrasi bio-mekanis) dan NFT 2 (50 ekor ikan dengan filtrasi bio-mekanis) mengalami penurunan pH yang relatif lambat dan stabil. Kondisi ini mencerminkan proses nitrifikasi yang efektif, di mana amonia dari metabolisme ikan diubah menjadi nitrit dan selanjutnya menjadi nitrat oleh bakteri nitrifikasi. Meskipun proses ini melepaskan ion hidrogen yang menurunkan pH, penurunan tersebut terjadi secara bertahap dan tetap berada dalam kisaran aman bagi ikan maupun tanaman. Hasil pengukuran pH dari tiga konfigurasi sistem NFT ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 1 Nilai pH sistem NFT dalam tiga konfigurasi selama 30 hari

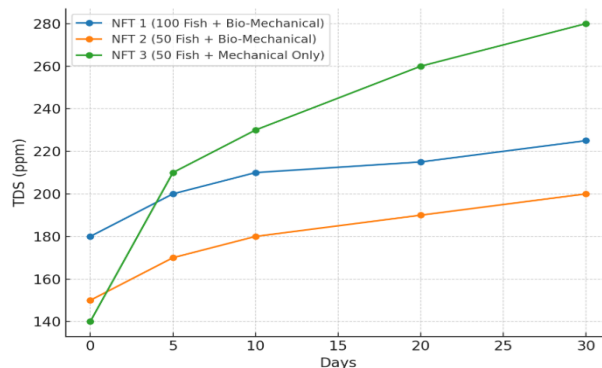
Day	NFT 1 (100 Ikan + Bio-Mekanis)	NFT 2 (50 Ikan + Bio-Mekanis)	NFT 3 (50 Ikan + Mekanis saja)
1	6,8	6,9	7,0
5	6,7	6,8	6,4
10	6,5	6,7	6,1
15	6,3	6,5	5,9
20	6,2	6,4	5,7
25	6,1	6,3	5,5
30	6,0	6,2	5,4

Sebaliknya, NFT 3 (50 ekor ikan dengan hanya menggunakan filtrasi mekanis) menunjukkan penurunan pH yang lebih tajam dan kurang stabil. Tidak adanya biofiltrasi mencegah limbah organik terurai secara biologis, sehingga justru terjadi dekomposisi anaerob yang menghasilkan asam organik. Akumulasi asam-asam tersebut menyebabkan penurunan pH secara drastis yang dapat memicu stres fisiologis pada ikan serta menurunkan efisiensi penyerapan nutrisi pada tanaman.

Secara singkat, hasil ini menunjukkan bahwa biofiltrasi sangat penting untuk menjaga keseimbangan sistem akuaponik. Jika tidak ada biofiltrasi, maka diperlukan langkah tambahan, seperti menambahkan zat tambahan (contohnya kalsium karbonat) atau mengganti ke filtrasi bio-mekanis agar sistem tetap stabil dan berkelanjutan dalam jangka panjang.

4.2 Padatan Terlarut

Parameter padatan terlarut berfungsi sebagai indikator tidak langsung untuk menilai konsentrasi bahan organik dan mineral yang tersuspensi dalam air. Dalam sistem akuaponik, nilai padatan terlarut yang tinggi mencerminkan beban limbah organik dari ikan, sisa pakan yang tidak termakan, serta efektivitas sistem filtrasi yang diterapkan. Pemantauan parameter ini sangat penting, karena kualitas air berhubungan erat dengan kesehatan ikan dan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Pada penelitian ini, tingkat padatan terlarut diamati setiap sepuluh hari selama periode 30 hari dengan menggunakan sensor digital berbasis IoT yang diukur dalam satuan *part per million* (ppm). Hasil pengukuran ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Konsentrasi padatan terlarut sistem akuaponik diukur selama periode 30 hari

Pengamatan menunjukkan bahwa NFT 1 dengan 100 ekor ikan mengalami peningkatan konsentrasi padatan terlarut dari 180 ppm menjadi 230 ppm selama periode 30 hari. Peningkatan ini terjadi secara bertahap dan tetap relatif stabil, menunjukkan bahwa kombinasi filtrasi mekanis dan biologis secara efektif mampu mengelola beban limbah organik meskipun dengan kepadatan ikan yang lebih tinggi. NFT 2 yang berisi 50 ekor ikan dan menggunakan filtrasi bio-mekanis memperlihatkan tren serupa dengan padatan terlarut meningkat dari 150 ppm menjadi 200 ppm. Nilai yang relatif lebih rendah pada NFT 2 mencerminkan beban organik yang lebih sedikit, sehingga biofilter dapat berfungsi lebih efisien dalam menjaga kualitas air.

Sebaliknya, NFT 3 yang hanya mengandalkan filtrasi mekanis menunjukkan peningkatan padatan terlarut yang jauh lebih tajam, dari 130 ppm menjadi 280 ppm. Kenaikan yang tinggi ini mengindikasikan penumpukan limbah organik yang tidak terurai akibat tidak adanya biofiltrasi. Dominasi dekomposisi anaerob menyebabkan akumulasi materi organik terlarut yang secara signifikan menurunkan kualitas air dan berpotensi menghambat pertumbuhan ikan serta penyerapan nutrisi oleh tanaman.

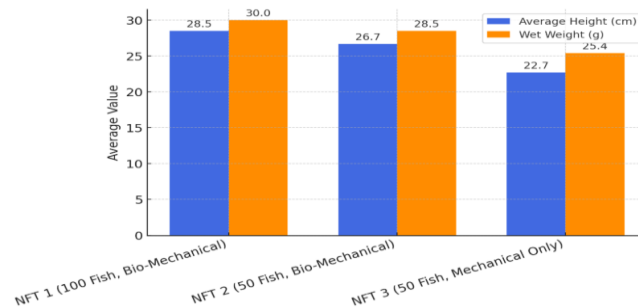
Secara keseluruhan, temuan ini menekankan peran penting biofiltrasi dalam menstabilkan kadar padatan terlarut. NFT 1 dan NFT 2 berhasil menjaga kualitas air tetap berada dalam batas aman, sementara NFT 3 menunjukkan keterbatasan filtrasi mekanis apabila tanpa perlakuan biologis. Untuk meningkatkan kinerja NFT 3, integrasi biofilter atau strategi pengelolaan pakan yang lebih baik diperlukan untuk mengurangi akumulasi limbah organik dan mempertahankan efisiensi produksi dalam jangka panjang.

4.3 Pertumbuhan *Ipomoea aquatica*

Pertumbuhan tanaman dievaluasi berdasarkan tinggi tanaman (cm) dan berat segar per tanaman (g) selama periode pengamatan 30 hari. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, NFT 1 (100 ikan dengan filtrasi bio-mekanis) menunjukkan kinerja pertumbuhan tanaman tertinggi dengan rata-rata tinggi 28,5 cm dan berat segar 30,0 g per tanaman. Hasil ini menunjukkan bahwa kepadatan ikan yang lebih tinggi menyediakan pasokan nutrisi yang lebih melimpah, sehingga mendukung pertumbuhan optimal *Ipomoea aquatica*. Kehadiran biofiltrasi menstabilkan kualitas air meskipun terdapat beban organik yang lebih tinggi, sehingga nutrisi tetap tersedia secara hayati dan dapat diserap secara efektif oleh tanaman.

NFT 2 (50 ekor ikan dengan sistem filtrasi bio-mekanis) menunjukkan pertumbuhan tanaman yang tergolong baik dengan rata-rata tinggi tanaman sebesar 26,7 cm dan bobot segar 28,5 g per tanaman. Hasil ini mengindikasikan bahwa sistem dengan kepadatan ikan sedang masih mampu mendukung perkembangan tanaman,

meskipun ketersediaan nutrisi relatif lebih rendah dibandingkan dengan NFT 1. Hasil pengukuran pertumbuhan *Ipomoea aquatica* disajikan pada Gambar 5.



Gambar 4. Variasi konsentrasi padatan terlarut periode pengamatan 30 hari

Sebaliknya, NFT 3 (50 ikan dengan filtrasi mekanis saja) menghasilkan kinerja pertumbuhan terendah dengan tinggi rata-rata hanya 22,7 cm dan bobot basah 25,4 g per tanaman. Kondisi ini menekankan bahwa tanpa biofiltrasi kualitas air menurun akibat akumulasi limbah organik yang menyebabkan penyerapan nutrisi oleh tanaman menjadi tidak optimal.

4.4. Pertumbuhan *Oreochromis niloticus*

Ikan nila dalam sistem NFT 1 dengan kepadatan 100 ekor ikan dan menggunakan filtrasi bio-mekanis menunjukkan pertumbuhan tertinggi dengan rata-rata berat akhir sebesar 50,3 g per ekor. Total biomassa meningkat sebesar 2,3 kg dalam jangka waktu 30 hari. Sistem NFT 2 dengan 50 ikan dan filtrasi bio-mekanis mencapai berat akhir rata-rata 48,1 g per ikan dengan total peningkatan biomassa sebesar 1,0 kg. Sebaliknya, sistem NFT 3 (50 ikan dengan filtrasi mekanis saja) mencatat bobot akhir terendah sebesar 42,7 g per ikan dengan total kenaikan biomassa hanya 0,8 kg. Pengukuran pertumbuhan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2 Kinerja pertumbuhan *Oreochromis niloticus*

Sistem Akuaponik	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Total Pertambahan Berat (kg)
NFT 1 (100 ikan, Bio-Mekanis)	27,5	50,3	2,3
NFT 2 (50 ikan, Bio-Mekanis)	27,2	48,1	1,0
NFT 3 (50 ikan, Mekanis saja)	27,4	42,7	0,8

Sistem NFT 1 menunjukkan potensi untuk menghasilkan biomassa yang lebih tinggi, namun dengan biaya efisiensi pakan yang menurun akibat kepadatan penebaran yang lebih tinggi. Sistem NFT 2 menawarkan keseimbangan yang lebih baik antara pertumbuhan ikan dan efisiensi pakan, sehingga lebih cocok untuk implementasi skala komersial yang berkelanjutan. Sementara itu, NFT 3 menegaskan bahwa filtrasi mekanis saja tidak cukup untuk menjaga kualitas lingkungan dan tidak sebaiknya direkomendasikan tanpa penambahan biofiltrasi.

4.5 Temuan Penelitian

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa parameter kualitas air khususnya pH, tetap berada dalam rentang optimal untuk budidaya tanaman air maupun ikan. Nilai pH yang terukur berkisar antara 7,1 hingga 7,5 mencerminkan kondisi netral hingga sedikit basa (Shi et al., 2022) yang umumnya mendukung pertumbuhan *Ipomoea aquatica* serta kelangsungan hidup *Oreochromis niloticus*. Pemeliharaan kestabilan pH sangat penting

karena fluktuasi di luar rentang yang dapat diterima dapat menimbulkan stres fisiologis, menurunkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman, serta mengganggu efisiensi metabolisme pada ikan. Kondisi netral yang teramati dalam penelitian ini memastikan penyerapan nutrisi oleh *Ipomoea aquatica* tidak terganggu dan *Oreochromis niloticus* mampu mempertahankan proses biologis normalnya.

Selain pH, padatan terlarut juga dipantau sebagai indikator kualitas air dan dinamika nutrisi dalam sistem. Konsentrasi padatan terlarut berkisar antara 180 hingga 230 mg/L, yang masih berada dalam rentang toleransi untuk praktik budidaya perairan tawar (Brent et al., 2022). Padatan terlarut dalam jumlah yang sesuai menyediakan ion dan mineral penting yang berkontribusi pada ketersediaan nutrisi yang dibutuhkan oleh *Ipomoea aquatica* (Adjovu et al., 2023). Namun, kadar yang terlalu tinggi dapat menyebabkan berkurangnya kelarutan oksigen dan potensi stres osmotik bagi ikan. Oleh karena itu, konsentrasi sedang yang tercatat dalam penelitian ini mendukung pertumbuhan tanaman sekaligus kelangsungan hidup ikan, mencerminkan keseimbangan antara ketersediaan nutrisi dan keberlanjutan lingkungan.

Budidaya *Ipomoea aquatica* menunjukkan respons positif pada kondisi kualitas air yang tercatat. Biomassa rata-rata meningkat secara stabil dengan laju pertumbuhan sekitar 15–20% selama periode pengamatan. Hasil ini menunjukkan bahwa pH netral dan konsentrasi padatan terlarut yang moderat menciptakan lingkungan yang mendukung untuk asimilasi nutrisi. Peran *Ipomoea aquatica* dalam menyerap kelebihan nutrisi dari air juga berkontribusi terhadap pemeliharaan stabilitas sistem, sehingga menegaskan potensinya sebagai fitoremediasi dalam sistem akuaponik atau akuakultur.

Kinerja *Oreochromis niloticus* dalam kondisi ini juga menunjukkan hasil yang menggemblakan, dengan tingkat kelangsungan hidup melebihi 90% dan penambahan bobot yang konsisten sepanjang percobaan. Spesies ini dikenal memiliki ketahanan terhadap berbagai kondisi lingkungan, namun pH yang stabil dan keseimbangan padatan terlarut yang diamati di sini semakin meningkatkan performanya. Kualitas air yang memadai tidak hanya mencegah kematian akibat stres (Prajapat, 2025) tetapi juga memungkinkan pemanfaatan pakan yang efisien serta alokasi energi menuju akumulasi biomassa. Temuan ini sejalan dengan laporan sebelumnya yang menekankan bahwa ikan nila tumbuh dengan baik pada lingkungan dengan pH netral dan konsentrasi ion yang sedang (Abd El-Hack et al., 2022; Ashouri et al., 2023), kondisi yang berhasil dicapai dalam penelitian ini.

Secara keseluruhan, interaksi antara parameter kualitas air, pertumbuhan tanaman, dan performa ikan menunjukkan adanya kompatibilitas antara *Ipomoea aquatica* dan *Oreochromis niloticus* dalam suatu sistem terintegrasi. Tanaman secara efektif memanfaatkan nutrisi sekaligus berkontribusi dalam menjaga kualitas air yang pada gilirannya mendukung kesehatan dan produktivitas ikan. Temuan ini menegaskan bahwa kisaran pH dan padatan terlarut yang terukur tidak hanya dapat ditoleransi, tetapi juga bermanfaat dalam mempertahankan ekosistem perairan yang seimbang. Sinergi ini menekankan potensi penggabungan *Ipomoea aquatica* dan *Oreochromis niloticus* dalam praktik akuakultur berkelanjutan, di mana pengelolaan kualitas air, produktivitas tanaman, dan kelangsungan hidup ikan saling bergantung serta saling memperkuat.

Penelitian di masa depan perlu mengeksplorasi optimalisasi siklus nutrisi dalam sistem akuaponik yang melibatkan *Ipomoea aquatica* dan *Oreochromis niloticus*, khususnya dengan fokus pada perbedaan kepadatan tebar, pola pemberian pakan, serta rasio tanaman terhadap ikan. Pemantauan jangka panjang terhadap dinamika kualitas air direkomendasikan untuk mengevaluasi stabilitas dan ketahanan sistem di bawah berbagai kondisi lingkungan. Studi perbandingan dengan spesies tanaman dan varietas ikan lain juga dapat memberikan wawasan yang lebih luas mengenai kompatibilitas

spesies dan efisiensi sistem. Selain itu, penelitian mengenai kelayakan ekonomi dan skala penerapan integrasi *Ipomoea aquatica* dalam praktik akuaponik akan sangat berharga untuk mendorong adopsinya sebagai model produksi pangan berkelanjutan.

4.6 Implikasi Praktis

Sistem akuaponik berbasis NFT yang dilengkapi IoT ini memiliki potensi penerapan luas di berbagai konteks. Pada tingkat rumah tangga, sistem dapat menjadi solusi pertanian mandiri yang hemat air dan ruang, memungkinkan keluarga memproduksi sayuran dan ikan konsumsi dalam skala kecil dengan pemantauan otomatis melalui ponsel. Untuk komunitas urban farming, sistem ini dapat diimplementasikan secara modular di area terbatas seperti atap gedung atau lahan sempit perkotaan, memberikan alternatif produksi pangan berkelanjutan sekaligus edukatif bagi masyarakat kota. Sementara itu, di lingkungan sekolah atau institusi pendidikan, sistem ini berfungsi sebagai media pembelajaran interdisipliner yang menggabungkan konsep biologi, kimia, dan teknologi informasi, sehingga mendorong penguatan literasi digital dan kesadaran lingkungan melalui pendekatan berbasis proyek.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa integrasi sistem biofiltrasi dan otomasi berbasis IoT dalam akuaponik NFT mampu mempertahankan kualitas air dalam rentang ideal bagi pertumbuhan *Oreochromis niloticus* dan *Ipomoea aquatica*. Pengendalian otomatis terhadap sirkulasi air, aerasi, dan filtrasi berkontribusi pada stabilitas parameter utama seperti pH dan total dissolved solids (TDS), yang secara langsung mendukung keseimbangan ekosistem akuatik. Pertumbuhan *Ipomoea aquatica* menunjukkan adaptabilitas yang tinggi sekaligus fungsi fitoremediasi yang efektif, sementara *Oreochromis niloticus* memperlihatkan peningkatan biomassa yang konsisten. Temuan ini menegaskan bahwa penerapan otomasi IoT dengan dukungan biofiltrasi tidak hanya meningkatkan efisiensi sistem NFT tetapi juga memperkuat potensi akuaponik sebagai solusi produksi pangan berkelanjutan berbasis teknologi cerdas. Penelitian ini didukung oleh skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) dengan nomor kontrak 131/LL6/PL/AL.04/2025, yang dipimpin oleh Muhammad Hassan Massaty.

5.2 Saran

Sistem akuaponik dengan kombinasi NFT dapat dikembangkan lebih luas sebagai model produksi pangan berkelanjutan dengan fokus pada peningkatan efisiensi pemanfaatan sumber daya, pengurangan limbah, dan konservasi air. Optimalisasi sistem akuaponik dengan terus memantau dan menyesuaikan parameter kualitas air secara rutin, seperti pH dan padatan terlarut agar tetap berada dalam rentang optimal untuk mendukung pertumbuhan *Ipomoea aquatica* dan *Oreochromis niloticus*. Pengembangan fitoremediasi mengingat *Ipomoea aquatica* menunjukkan kemampuan adaptasi dan potensinya sebagai fitoremediator, dianjurkan untuk mengeksplorasi penggunaan tanaman *Ipomoea aquatica* dalam mengendalikan polutan atau nutrisi berlebih dalam sistem akuaponik. *Oreochromis niloticus* terbukti cocok untuk sistem akuaponik dengan kombinasi NFT, ke depannya dapat mempertimbangkan variasi ukuran atau umur ikan agar sistem lebih efisien dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Abd El-Hack, M. E., El-Saadony, M. T., Nader, M. M., Salem, H. M., El-Tahan, A. M., Soliman, S. M., & Khafaga, A. F. (2022). Effect of environmental factors on

- growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International journal of biometeorology*, 66(11), 2183-2194. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02347-6>
- Abdulmouti, H., Minhas, W., Skaf, Z., Abousamra, R., & Alex, A. (2023). The applicability of the solar-powered aquaponics mobile unit at Sharjah Campus for sustainable perspectives of food security. *Design, Construction and Maintenance*, 3, 237-252. <https://doi.org/10.37394/232022.2023.3.23>
- Adjovu, G. E., Stephen, H., James, D., & Ahmad, S. (2023). Measurement of Total Dissolved Solids and Total Suspended Solids in Water Systems: A Review of the Issues, Conventional, and Remote Sensing Techniques. *Remote Sensing*, 15(14), 3534. <https://doi.org/10.3390/rs15143534>
- Ashouri, G., Hoseinifar, S. H., El-Haroun, E., Imperatore, R., & Paolucci, M. (2023). Tilapia fish for future sustainable aquaculture. In *Novel approaches toward sustainable tilapia aquaculture* (pp. 1-47). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38321-2_1
- Brent, R. N., Kunkel, J., Tomek, Z., Buchardt, D., DeLisle, P. F., & Sivers, S. (2022). A Novel Approach to Developing Thresholds for Total Dissolved Solids Using Standardized and Experimental Toxicity Test Methods. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 41(11), 2782-2796. <https://doi.org/10.1002/etc.5466>
- Chen, X., Shuai, C., & Wu, Y. (2023). Global food stability and its socio-economic determinants towards sustainable development goal 2 (Zero Hunger). *Sustainable Development*, 31(3), 1768-1780. <https://doi.org/10.1002/sd.2482>
- de Oliveira Demarco, J., L., H. S., M., B. L., Ganga, H., Mohammad, A., & Nottingham, E. (2023). Industrial wastewater treatment by plant-based bio-filtration. *International Journal of Phytoremediation*, 25(14), 1945-1955. <https://doi.org/10.1080/15226514.2023.2209191>
- Debroy, P., Majumder, P., & Seban, L. (2025). A simulation based water quality parameter control of aquaponic system employing model predictive control strategy incorporation with optimization technique. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 44(1), e14530. <https://doi.org/10.1002/ep.14530>
- Iftikhar, T., Zubair, S., waseem Iqbal, M., Hamid, K., & Nazir, A. (2023). Cost Effective About IoT-Based Accordingly to Weather Monitoring System Development and Improve Average of Crops. *Jilin Daxue Xuebao Gongxueban Journal Jilin Univ. Eng. Technol. Ed*, 42, 123-152. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/TKAH8>
- Intania, Z., Fadhillah, A., Fahmi, M. A., & Rif'iyati, D. (2024). Solusi Ketahanan Pangan dan Peningkatan Ekonomi Rumah Tangga Melalui Inovasi Budikdamlon (Budidaya Ikan Lele dan Kangkung dalam Galon). *Dharmahita: Journal of Community Service and Development*, 81-88. <https://doi.org/10.28918/dharmahita.v1i2.8804>
- Kusumanti, I., Firdausi, A. P., Ramadhani, D. E., & Indriastuti, C. E. (2023). Sosialisasi Potensi Bisnis Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) di Desa Nagrak, Kabupaten Cisaat, Sukabumi. *Agrokreatif: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 9(2), 154-163. <https://doi.org/10.29244/agrokreatif.9.2.154-163>
- Mohapatra, B. C., Chandan, N. K., Panda, S. K., Majhi, D., & Pillai, B. R. (2020). Design and development of a portable and streamlined nutrient film technique (NFT) aquaponic system. *Aquacultural Engineering*, 90, 102100. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102100>
- Nagothu, S. K., Bindu Sri, P., Anitha, G., Vincent, S., & Kumar, O. P. (2025). Advancing aquaculture: Fuzzy logic-based water quality monitoring and maintenance system for precision aquaculture. *Aquaculture International*, 33(1), 32. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01701-2>

- Ninasari, A., Suwarno, K., & Suleyman, S. (2024). Inovasi Teknologi Pertanian: Pengaruh Sistem Hidroponik terhadap Pertumbuhan Sayuran. *Jurnal Review Pendidikan Dan Pengajaran (JRPP)*, 7(4), 17090-17094. <https://doi.org/10.31004/jrpp.v7i4.38574>
- Nuraisyah, T. K., Khalila, K., Putri, S. R. R., Nisa, N. A., & Qulbi, S. H. (2025). Perkembangan Food Estate di Indonesia: Analisis Peluang, Tantangan, dan Ancaman secara Domestik serta Global. *Jurnal Syntax Admiration*, 6(2), 1099-1115. <https://doi.org/10.46799/jsa.v6i2.2110>
- Prajapat, B. (2025). *Success Factors in Fish Larval Production*. Educohack Press.
- Rozci, F. (2024). Dampak Perubahan Iklim Terhadap Sektor Pertanian Padi. *Jurnal Ilmiah Sosio Agribis*, 23(2), 108-116. <https://doi.org/10.30742/jisa23220233476>
- Seroja, S., Dohad, M., Ishak, N., Tan, M., & Abro, G. (2024). IoT-Based Monitoring and Optimization of Nutrient Film Technique Aquaponic Systems: Influence of Bio-Mechanical Filtration on Growth Rates of *Oreochromis Niloticus* and Brassica Rapa. *International Journal of Computational Thinking and Data Science*, 4, 10-18. <https://doi.org/10.37934/ctds.4.1.1018>
- Setiawan, B., Styawati, S., & Alim, S. (2024). Implementasi sistem IoT pada akuakultur dan hidroponik (akuaponik) modern untuk pertumbuhan ikan nila. *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, 9(1), 47-53. <https://doi.org/10.30591/jpit.v9i1.5896>
- Shi, C., Ma, J., Wu, H., Luo, J., Liu, Y., Li, K.,...Wang, K. (2022). Evaluation of pH regulation in carbohydrate-type municipal waste anaerobic co-fermentation: Roles of pH at acidic, neutral and alkaline conditions. *Science of the Total Environment*, 853, 158327. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158327>
- Stoyanova, S., Sirakov, I., & Velichkova, K. (2024). Sustainable Production: Integrating Medicinal Plants with Fish Farming in Aquaponics—A Mini Review. *Sustainability (2071-1050)*, 16(15). <https://doi.org/10.3390/su16156337>
- Susanto, P. C., Arini, D. U., Yuntina, L., Soehaditama, J. P., & Nuraeni, N. (2024). Konsep penelitian kuantitatif: Populasi, sampel, dan analisis data (sebuah tinjauan pustaka). *Jurnal Ilmu Multidisplin*, 3(1), 1-12. <https://doi.org/10.38035/jim.v3i1>
- Syaputra, A., & Prawira, N. S. (2024). Implementasi Teknologi IoT dalam Sistem Akuaponik dan Akuakultur Modern untuk Optimasi Pertumbuhan Ikan Lele. *ILKOMNIKA*, 6(3), 383-392. <https://doi.org/10.28926/ilkomnika.v6i3.692>
- Wardani, D. K. (2020). *Pengujian Hipotesis (deskriptif, komparatif dan asosiatif)*. Lppm Universitas Kh. A. Wahab Hasbullah.
- Waruwu, M., Puat, S. N., Utami, P. R., Yanti, E., & Rusydiana, M. (2025). Metode penelitian kuantitatif: Konsep, jenis, tahapan dan kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 10(1), 917-932. <https://doi.org/10.29303/jipp.v10i1.3057>
- Yusoff, F. M., Umi, W. A., Ramli, N. M., & Harun, R. (2024). Water quality management in aquaculture. *Cambridge Prisms: Water*, 2, e8. <https://doi.org/10.1017/wat.2024.6>
- Zainal, A., Yulianto, H., & Yanfika, H. (2021). Financial benefits of the environmentally friendly aquaponic media system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 739(1), 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/739/1/012024>
- Zebua, O., Zega, A., Zebua, R. D., Laoli, D., Dawolo, J., & Telaumbanua, B. V. (2024). Krisis biodiversitas perairan: Investigasi solusi berbasis komunitas untuk pemulihan ekosistem akuatik. *Manfish: Jurnal Ilmiah Perikanan dan Peternakan*, 2(2), 69-79. <https://doi.org/10.62951/manfish.v2i2.47>