

**Hệ thống kiểm soát pH, hàm lượng oxy hòa tan (DO) và độ đục (NTU) trong bể nuôi cá tra giống**

Monitoring and control system for pH, dissolved oxygen (DO), and turbidity (NTU) in pangasius catfish (Pangasianodon hypophthalmus) nursery tanks

Giảng viên hướng dẫn: TS. Đinh Thị Khả Hân

SVTH: Trần Minh Hiếu<sup>1\*</sup>, Nguyễn Tuấn Anh<sup>2</sup>, Hồ Lê Huy<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Đơn vị công tác (Khoa kỹ thuật công nghệ, Trường Đại học Văn Hiến);

\*Tác giả liên hệ: [PNhatanh09@gmail.com](mailto:PNhatanh09@gmail.com), [hieu221A020029@st.vhu.edu.vn](mailto:hieu221A020029@st.vhu.edu.vn).

▪ Nhận bài: 19/08/2025

▪ Sửa bài: 21/08/2025

▪ Duyệt đăng: dd/mm/2025

**TÓM TẮT**

Nghiên cứu này tập trung vào việc thiết kế và triển khai hệ thống IoT nhằm giám sát và điều khiển ba thông số môi trường quan trọng trong bể nuôi cá tra giống gồm pH, hàm lượng oxy hòa tan (DO) và độ đục (NTU). Hệ thống sử dụng các cảm biến pH, DO, NTU, cảm biến nhiệt độ nước nồng độ khí độc kết nối với vi điều khiển ESP32 thông qua bộ chuyển đổi tín hiệu ADS1115 để nâng cao độ chính xác đo lường là yếu tố tất yếu giúp nâng cao chất lượng con giống và mật độ nuôi. Dữ liệu được thu thập, xử lý và truyền về máy chủ hoặc ứng dụng di động qua kết nối Wi-Fi, giúp người nuôi theo dõi tình trạng môi trường nước theo thời gian thực. Khi phát hiện thông số vượt ngưỡng cài đặt, hệ thống phát cảnh báo lên màn hình cảm ứng TFT, ứng dụng di động, lưu trữ các thay đổi lên cloud và tự động kích hoạt các thiết bị hỗ trợ như máy sục khí, bơm nước hoặc hệ thống lọc để duy trì điều kiện tối ưu. Kết quả thử nghiệm tại mô hình bể nuôi cá tra giống cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, đáp ứng yêu cầu giám sát liên tục và điều khiển tự động, góp phần nâng cao chất lượng con giống, giảm thiểu rủi ro và cải thiện hiệu quả sản xuất trong nuôi trồng thủy sản.

**Từ khóa:** DO, giám sát môi trường, IoT, NTU, nuôi trồng thủy sản, pH

**ABSTRACT**

This study focuses on the design and implementation of an IoT-based system for monitoring and controlling three key water quality parameters in pangasius fingerling culture tanks: pH, dissolved oxygen (DO), and turbidity (NTU). The system utilises pH, DO, and NTU sensors, connected to an ESP32 microcontroller via an ADS1115 analogue-to-digital converter, to enhance measurement accuracy. Collected data is processed and transmitted via Wi-Fi to a server or mobile application, enabling real-time monitoring of water conditions. When any parameter exceeds predefined thresholds, the system issues alerts and automatically activates support devices such as aerators, water pumps, or filtration units to maintain optimal conditions. Experimental results from the pangasius fingerling culture model indicate that the system operates reliably, meets the requirements for continuous monitoring and automatic control, and contributes to improving fingerling quality, reducing risks, and enhancing production efficiency in aquaculture.

**Keywords:** aquaculture, DO, environmental monitoring, IoT, NTU, pH

**1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Cá tra (Pangasianodon hypophthalmus) hiện là một trong những đối tượng thủy sản chiến lược của Việt Nam, đặc biệt tại khu vực Đồng bằng sông Cửu Long, nơi chiếm phần lớn sản lượng và giá trị xuất khẩu. Trong chuỗi sản xuất, giai đoạn ương giống đóng vai trò then chốt vì quyết định tỷ lệ sống, tốc độ lớn cũng như chất lượng cá khi bước sang giai đoạn nuôi thương phẩm. Để đạt được hiệu quả cao trong giai đoạn này, điều kiện môi trường nước phải được duy trì ổn định và phù hợp, bởi chỉ một biến động nhỏ cũng có thể làm giảm khả năng thích nghi, gây stress và dẫn đến hao hụt đáng kể [1]. Trong số nhiều yếu tố môi trường, ba chỉ số thường được quan tâm nhiều nhất gồm: độ pH, hàm lượng oxy hòa tan (DO) và độ đục (NTU). pH là thông số cơ bản phản ánh tính axit – kiềm của môi trường nước. Đối với cá nước ngọt, khoảng giá trị từ 6,5–8,5 được coi là tối ưu; vượt ra khỏi ngưỡng này, đặc biệt khi pH xuống thấp dưới 6

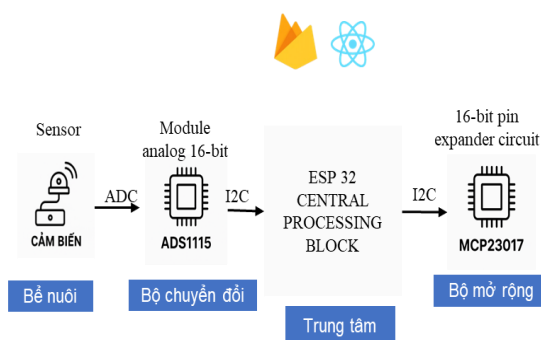
hoặc vượt quá 9, có thể gây rối loạn sinh lý, giảm tốc độ sinh trưởng và thậm chí dẫn đến tỷ lệ chết cao [2]. Hàm lượng oxy hòa tan (DO) là yếu tố trực tiếp ảnh hưởng đến hoạt động hô hấp và trao đổi chất của cá. Nhiều nghiên cứu cho thấy nếu DO duy trì ở mức trên 5 mg/L, cá sẽ phát triển bình thường; ngược lại, khi DO giảm về mức 2–4 mg/L, cá sẽ chịu stress mạnh, chậm lớn và dễ chết [3]. Các báo cáo khác cũng khẳng định cá tra, dù được đánh giá là loài chịu đựng tương đối tốt, vẫn bị ảnh hưởng nghiêm trọng khi DO dưới 2 mg/L [4]. Thử nghiệm tại Đồng bằng sông Cửu Long xác định khoảng DO lý tưởng cho cá tra nằm trong khoảng 5,6–7,5 mg/L, vừa đảm bảo tăng trưởng vừa hạn chế rủi ro dịch bệnh [1]. Độ đục (NTU) là chỉ số phản ánh nồng độ chất rắn lơ lửng trong nước. Độ đục cao không chỉ hạn chế ánh sáng xuyên xuống cột nước, làm giảm quang hợp của tảo, mà còn gây tổn thương mang và tạo điều kiện cho vi sinh vật có hại

phát triển. Dù chưa có ngưỡng cụ thể dành riêng cho cá tra giống, nhiều công trình nghiên cứu về IoT trong thủy sản đề xuất nên duy trì NTU dưới 10 để phù hợp với hầu hết các loài cá nước ngọt, bao gồm cá tra [5]. Trong thực tế, phần lớn các trại ương cá tra giống vẫn áp dụng phương pháp thủ công để theo dõi chất lượng nước. Phương thức này vừa tốn nhiều nhân lực, vừa có sai số cao, và quan trọng hơn là không đáp ứng được yêu cầu giám sát liên tục. Vì vậy, khi môi trường biến động nhanh, đặc biệt trong điều kiện thời tiết cực đoan, người nuôi thường không kịp thời phát hiện để can thiệp. Nhằm khắc phục hạn chế này, nhiều nghiên cứu gần đây đã áp dụng công nghệ Internet vạn vật (IoT) để xây dựng các hệ thống giám sát và điều khiển tự động trong nuôi thủy sản. Các mô hình ứng dụng IoT cho thấy khả năng theo dõi liên tục pH, DO, NTU và nhiều thông số khác theo thời gian thực, đồng thời tích hợp chức năng điều khiển các thiết bị hỗ trợ như máy sục khí, bơm nước và hệ thống lọc [6]–[10]. Việc kết nối dữ liệu qua Internet cho phép cảnh báo sớm khi có biến động bất thường, từ đó giúp giảm thiểu rủi ro, nâng cao hiệu quả quản lý và hướng tới phát triển bền vững trong ngành nuôi trồng thủy sản. Dựa trên những yêu cầu thực tiễn này, nghiên cứu tập trung xây dựng một hệ thống IoT có khả năng giám sát liên tục và tự động điều chỉnh các thông số pH, DO, NTU trong bể ương cá tra giống. Hệ thống không chỉ ghi nhận dữ liệu theo thời gian thực mà còn được thiết kế để đưa ra hành động kịp thời, chẳng hạn như khởi động máy sục khí hoặc bơm lọc khi vượt ngưỡng an toàn. Nhờ đó, môi trường nuôi được duy trì ổn định, tỷ lệ sống của cá được cải thiện và chi phí vận hành được tối ưu hóa, góp phần tăng năng suất và hiệu quả kinh tế cho người nuôi tại Đồng bằng sông Cửu Long.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1 Cơ sở lý thuyết

Nghiên cứu được tiến hành theo phương pháp thực nghiệm, bao gồm việc thu thập dữ liệu, khảo sát, thiết kế và chế tạo hệ thống.



Hình 1. Mô hình sử dụng trong đề tài

#### ❖ Kết hợp lý thuyết với thực nghiệm

Quá trình thực hiện đề tài được triển khai theo hướng đồng bộ giữa nghiên cứu lý thuyết, bước đầu tìm hiểu thông tin về mô hình và đi khảo sát tính thực tế tại các vùng nuôi cá tra giống để nắm và hiểu được thực trạng hiện nay mà người dân mắc phải. Sau đó tiến

hành mô phỏng trên phần mềm và thử nghiệm trực tiếp ngoài hiện trường, nhằm đảm bảo độ chính xác, tính khả thi và khả năng ứng dụng thực tế của sản phẩm. Nhóm đã tiến hành:

Khảo sát điều kiện thực tế tại các khu vực nuôi cá giống mật độ cao dọc tuyến đường Nguyễn Văn Linh, đồng thời là mô hình thử nghiệm tại 31/2, Tân Tạo A, Bình Tân, TP.HCM.

- Đề xuất các phương án thiết kế ban đầu, đánh giá từng phương án để lựa chọn ra hướng đi tối ưu.
- Sử dụng các công cụ phần mềm hỗ trợ như: Proteus, Platform IO, Easy EDA, Sketchup... để thiết kế và kiểm thử hệ thống.



Hình 2. Nhóm đang khảo sát các trại ương cá tra giống ở dọc tuyến đường Nguyễn Văn Linh

#### Thiết kế thử nghiệm và hoàn chỉnh sản phẩm mẫu

Nhóm nghiên cứu đã xây dựng các phiên bản thử nghiệm dựa trên mô hình hệ thống hoàn chỉnh, bao gồm:

- Cảm biến đo TDS, pH, độ đục, DO, để thu thập đánh giá chất lượng nước khi ương và nuôi mật độ cao nhằm nắm bắt và đưa ra các giải pháp xử lý là cân bằng môi trường nuôi.



Hình 3. Cảm biến TDS DFROBOT

- Áp dụng nguyên tắc.



Hình 4. Cảm biến pH DFRobot Gravity



Hình 5. Cảm biến đo độ đục của nước DFRobot Gravity



Hình 6. Cảm biến oxy hòa tan DO DFRobot Gravity: Analog Dissolved Oxygen Sensor

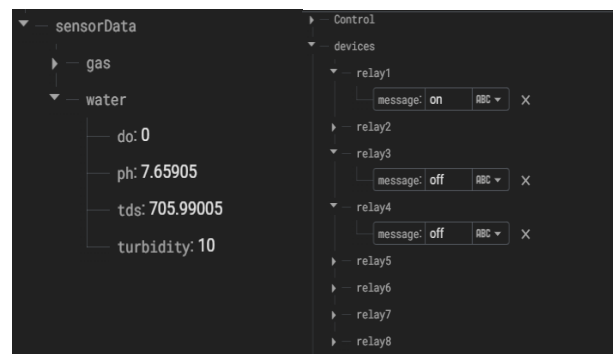
- Bộ điều khiển trung tâm ESP32, kết nối mạng Wi-Fi và thu phát tín hiệu từ các module ADS1115 để xử lý dữ liệu và điều khiển thiết bị.
- Ứng dụng điều khiển từ xa qua smartphone, hỗ trợ hai chế độ: tự động (Auto) và thủ công (Manual). Sau khi thử nghiệm, nhóm tiếp tục hiệu chỉnh và hoàn thiện thiết kế mẫu cuối theo đúng yêu cầu đã đề ra trong mục tiêu ban đầu.



Hình 7. Mô hình thử nghiệm và bộ thu dữ liệu được đặt ở trung tâm hiển thị thông qua màn hình TFT



Hình 8. Bể nuôi thử nghiệm dữ liệu nước khi nuôi mật độ cao 100 con/m<sup>3</sup>



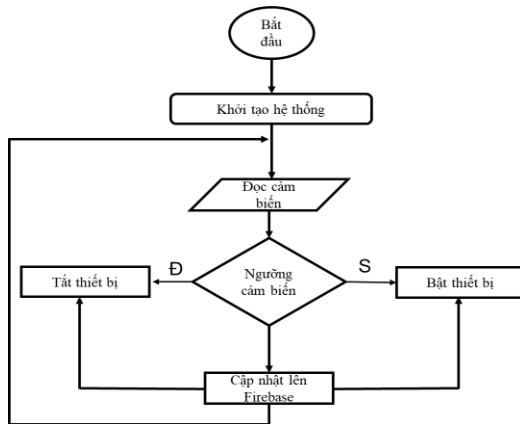
Hình 9. Firebase dùng để lưu giá trị hệ thống

## 1.2 Tổng quan cách vận hành của hệ thống

Hệ thống được thiết kế nhằm giám sát và điều khiển các thông số môi trường trong bể nuôi cá tra giống mật độ cao một cách tự động và chính xác. Các cảm biến đặt trong bể có nhiệm vụ đo lường các thông số quan trọng như nhiệt độ, pH, oxy hòa tan, độ đục hay mực nước. Các tín hiệu analog từ cảm biến được đưa về module chuyển đổi ADS1115 để xử lý và truyền dưới dạng tín hiệu số đến bộ vi điều khiển trung tâm ESP32. Trong trường hợp cần mở rộng số lượng tín hiệu vào/ra, hệ thống sử dụng thêm module mở rộng MCP23017. ESP32 đóng vai trò là khối xử lý trung tâm, tiếp nhận dữ liệu từ các cảm biến, thực hiện tính toán và so sánh với các ngưỡng đã thiết lập. Khi phát hiện giá trị vượt ngưỡng cho phép, ESP32 sẽ gửi tín hiệu điều khiển đến khối chấp hành để vận hành các thiết bị như máy sục khí, bơm nước, hệ thống

cấp/thoát nước hoặc bổ sung hóa chất nhằm duy trì điều kiện tối ưu trong bể nuôi. Đồng thời, dữ liệu cảm biến và trạng thái thiết bị được truyền và lưu trữ liên tục lên nền tảng đám mây Firebase. Thông qua Firebase, người dùng có thể theo dõi tình trạng bể nuôi theo thời gian thực trên ứng dụng di động được phát triển bằng React Native. Ứng dụng này cho phép giám sát trực quan, cảnh báo khi có sự cố và điều khiển hệ thống từ xa. Ngoài ra, hệ thống còn trang bị màn hình hiển thị và cảm ứng tại chỗ để người vận hành trực tiếp theo dõi và tương tác. Toàn bộ hệ thống được cung cấp năng lượng ổn định từ khối nguồn, đảm bảo hoạt động liên tục và an toàn. Nhờ sự tích hợp giữa cảm biến, vi điều khiển, cơ cấu chấp hành và nền tảng lưu trữ dữ liệu trên đám mây, hệ thống mang lại khả năng quản lý hiệu quả các thông số môi trường trong bể nuôi cá tra giống mật độ cao, giúp giảm thiểu rủi ro, tối ưu điều kiện sống cho cá, nâng cao tỷ lệ sống và hiệu quả sản xuất

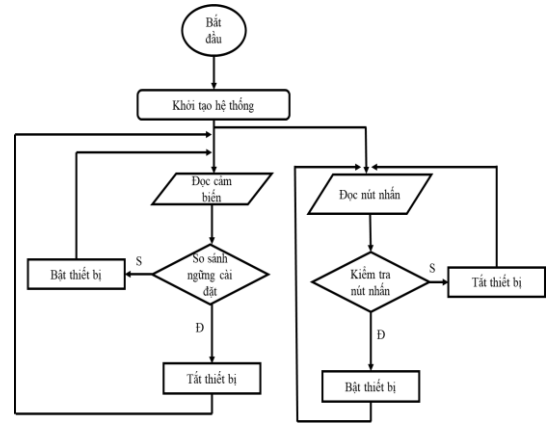
### 2.3.1 Lưu đồ chế độ tự động điều khiển



Lưu đồ 1. Chế độ tự động điều khiển

Khi hệ thống bắt đầu, vi điều khiển sẽ thực hiện bước khởi tạo, bao gồm cấu hình các thông số ban đầu, thiết lập giao tiếp với các module ngoại vi như màn hình hiển thị, cảm biến và các thiết bị chấp hành. Sau khi khởi tạo xong, hệ thống tiến hành đọc dữ liệu từ các cảm biến (như pH, DO, TDS, nhiệt độ, độ đục, khí độc...). Các giá trị này được so sánh với ngưỡng an toàn đã định trước. Nếu giá trị nằm trong phạm vi an toàn, hệ thống sẽ hiển thị trạng thái “An Toàn”, ngược lại nếu vượt ngưỡng sẽ hiển thị trạng thái “Cảnh Báo” và có thể kích hoạt các thiết bị điều khiển tương ứng. Song song đó, hệ thống cũng đọc trạng thái hiện tại của các thiết bị chấp hành và so sánh với trạng thái mong muốn, nếu thiết bị đang tắt thì hiển thị “Tắt”, còn nếu đang bật thì hiển thị “Bật”. Sau khi hoàn thành, hệ thống quay lại bước đọc cảm biến và lặp lại toàn bộ quá trình liên tục để đảm bảo giám sát và điều khiển theo thời gian thực.

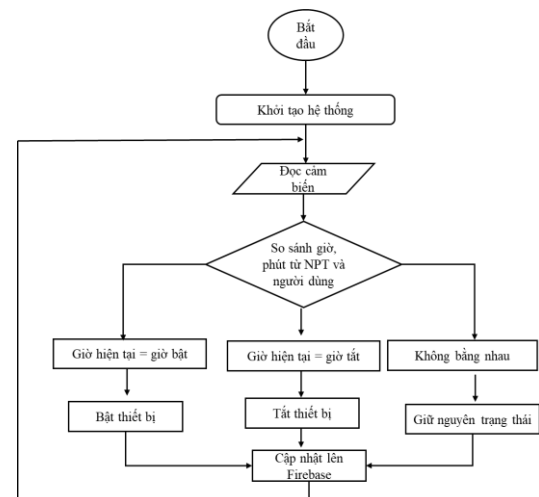
### 3.2 Lưu đồ chế độ điều khiển thủ công



Lưu đồ 2. Chế độ điều khiển thủ công

Hệ thống bắt đầu bằng việc khởi động và khởi tạo các thông số cần thiết, bao gồm thiết lập cảm biến và chuẩn bị thiết bị điều khiển. Sau khi hệ thống đã sẵn sàng, nó liên tục thực hiện hai nhiệm vụ chính: đọc dữ liệu từ cảm biến và kiểm tra trạng thái nút nhấn. Đầu tiên, hệ thống đọc giá trị từ cảm biến để xác định tình trạng môi trường nước. Giá trị này được so sánh với một ngưỡng đã được cài đặt trước. Nếu giá trị cảm biến vượt qua ngưỡng, hệ thống sẽ bật thiết bị. Ngược lại, nếu giá trị không vượt ngưỡng, thiết bị sẽ được tắt. Tiếp theo, hệ thống kiểm tra trạng thái của nút nhấn. Nếu người dùng nhấn nút, thiết bị sẽ bị tắt bất kể giá trị cảm biến. Nếu nút không được nhấn, thiết bị sẽ được bật. Điều này cho phép người dùng can thiệp thủ công vào quá trình điều khiển. Sau mỗi chu kỳ kiểm tra và điều khiển, hệ thống quay lại bước đầu để tiếp tục giám sát và phản ứng theo thời gian thực. Quá trình này được lặp lại liên tục nhằm đảm bảo thiết bị hoạt động chính xác theo cả điều kiện môi trường và thao tác của người dùng.

### 2.3.3 Lưu đồ chế độ điều khiển Daily Task



Lưu đồ 4 Chế độ điều khiển thủ công – Daily Task

Hệ thống bắt đầu bằng việc khởi tạo các thành phần cần thiết như kết nối WiFi, đồng bộ thời gian thực từ máy chủ NTP và chuẩn bị các cấu hình liên quan đến Firebase. Sau đó, hệ thống tiếp nhận dữ liệu thời gian bật tắt thiết bị được người dùng nhập từ ứng dụng, truyền qua Firebase và lưu tạm trong ESP.



Trong vòng lặp chính, hệ thống liên tục đọc thời gian hiện tại (giờ và phút) từ NTP. Thời gian này sẽ được so sánh với thời gian do người dùng đặt trước.

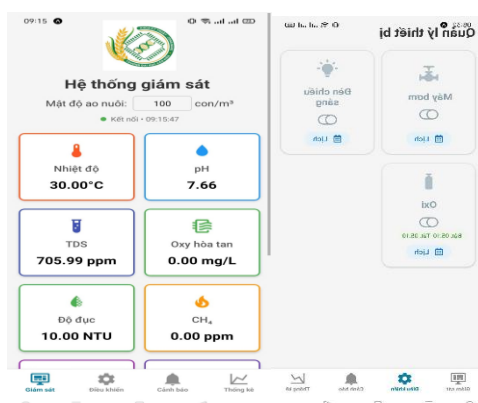
- Nếu giờ hiện tại trùng với giờ mở, hệ thống thực hiện bật các thiết bị, sau đó cập nhật trạng thái mới lên Firebase.
- Nếu giờ hiện tại trùng với giờ đóng, hệ thống thực hiện tắt thiết bị, rồi cũng cập nhật trạng thái mới lên Firebase.
- Trong trường hợp thời gian hiện tại không trùng khớp với bất kỳ thời điểm nào đã đặt, hệ thống giữ nguyên trạng thái hiện tại của thiết bị và tiếp tục giám sát.

Vì đây là nhiệm vụ theo ngày (Daily Task) nên mỗi hành động chỉ được thực hiện một lần mỗi ngày để đảm bảo không xảy ra kích hoạt nhiều lần tại cùng một thời điểm.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Kết quả

- Xây dựng thành công hệ thống có khả năng ứng dụng thực tế trong giám sát và điều khiển thiết bị thủy sản.
- Kết hợp giữa mô phỏng, tính toán và thực nghiệm.
- Thu thập và xử lý dữ liệu từ các cảm biến pH, TDS, DO, độ đục của nước để phát hiện sớm hiện tượng thay đổi môi trường nuôi.
- Tự động bật/tắt thiết bị dựa theo logic được lập trình.
- Hệ thống hỗ trợ 2 chế độ điều khiển: AUTO và MANUAL, có thể giám sát và vận hành từ xa thông qua ứng dụng điện thoại hoặc theo dõi trực tiếp tại phòng trực.
- Góp phần giảm nhân công vận hành, tăng độ chính xác và tính chủ động trong ứng phó biến đổi thời tiết và ô nhiễm nguồn nước



Hình 10. App sử dụng để theo dõi và điều khiển trên Smartphone

Từ quá trình phân tích, tổng hợp các công trình nghiên cứu và hệ thống thiết bị giám sát xâm nhập mặn trong và ngoài nước, có thể rút ra một số nhận định quan trọng như sau:

- Ở trong nước: Các giải pháp hiện nay chủ yếu tập trung vào việc quan trắc và giám sát chất lượng nước trong nuôi trồng thủy sản, đặc biệt là các thông số pH, oxy hòa tan (DO) và độ đục (NTU). Nhiều hệ thống đã ứng dụng công nghệ IoT để thu thập và truyền dữ liệu từ cảm biến về máy chủ, giúp người nuôi có thể theo dõi thông số môi trường từ xa. Tuy nhiên, phần lớn các mô hình chỉ dừng lại ở mức cảnh báo, chưa gắn kết chặt chẽ với khâu điều khiển tự động. Điều này có nghĩa là khi các thông số môi trường vượt ngưỡng, người nuôi vẫn phải thao tác thủ công (bật/tắt máy sục khí, thay nước...), dẫn đến độ trễ trong phản ứng và tiềm ẩn rủi ro cho đàn cá giống nếu không xử lý kịp thời.
- Ở quốc tế: Tại các quốc gia có ngành thủy sản phát triển mạnh như Na Uy, Nhật Bản hay Singapore, các hệ thống giám sát và điều khiển tự động đã được áp dụng với mức độ tích hợp cao. Các thông số môi trường không chỉ được đo đạc và giám sát mà còn được điều chỉnh tức thời thông qua hệ thống chấp hành tự động như máy sục khí, bơm nước tuần hoàn, hệ thống lọc. Tuy nhiên, các mô hình này thường có chi phí đầu tư lớn, yêu cầu hạ tầng kỹ thuật đồng bộ và phức tạp, khó áp dụng rộng rãi tại các trang trại nuôi cá tra giống ở Việt Nam, đặc biệt là tại khu vực nông thôn.

Từ những phân tích trên, có thể thấy tồn tại một khoảng trống rõ rệt trong nghiên cứu và ứng dụng các hệ thống kiểm soát tự động các chỉ tiêu pH, DO và NTU dành cho mô hình bể nuôi cá tra giống mật độ cao. Việc phát triển hệ thống này sẽ góp phần quan trọng vào việc giảm rủi ro, nâng cao tỷ lệ sống và hiệu quả sản xuất trong ương nuôi cá tra giống.

#### 3.2. Thảo luận

Trong quá trình nghiên cứu và triển khai đề tài “Thiết kế và chế tạo hệ thống kiểm soát pH, hàm lượng oxy hòa tan (DO) và độ đục (NTU) trong bể nuôi cá tra giống”, nhóm đã từng bước đạt được những mục tiêu đề ra:

- Tiến hành mô phỏng hoạt động của hệ thống trên phần mềm Proteus, kiểm thử các khối chức năng cơ bản.
- Viết chương trình thu thập, truyền – nhận dữ liệu từ các cảm biến pH, DO, NTU về bộ điều khiển trung tâm ESP32 trên nền tảng Arduino IDE.
- Thiết kế phần cứng và lắp ráp mô hình thực tế gồm: cảm biến pH, cảm biến DO, cảm biến độ đục, module ADS1115, MCP23017 và mạch điều khiển ESP32.

- Thử nghiệm thành công hệ thống trong bể nuôi mô phỏng, kiểm chứng khả năng giám sát liên tục và điều khiển thiết bị chấp hành (máy sục khí, bơm tuần hoàn...) theo đúng điều kiện thực tế.

Đề tài hướng đến việc ứng dụng công nghệ IoT trong quản lý môi trường nước, nhằm hỗ trợ người nuôi cá tra giống kiểm soát chủ động và hiệu quả các thông số quan trọng, giảm thiểu rủi ro, nâng cao tỷ lệ sống cũng như hiệu quả sản xuất. Trước mắt, hệ thống được thử nghiệm ở quy mô bể nuôi thí điểm; trong tương lai, nhóm mong muốn phát triển và triển khai ở quy mô rộng hơn tại các trại ương nuôi cá tra giống mật độ cao.

#### 4. KẾT LUẬN

Trong quá trình nghiên cứu, nhóm đã xây dựng và thử nghiệm thành công hệ thống kiểm soát pH, DO và NTU cho bể nuôi cá tra giống. Hệ thống đảm bảo khả năng giám sát liên tục, phản hồi nhanh thông qua cơ cấu chấp hành, đồng thời truyền dữ liệu về nền tảng lưu trữ đám mây, cho phép người dùng theo dõi và điều khiển từ xa. Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, phù hợp để áp dụng thực tế trong điều kiện nuôi mật độ cao. Hướng phát triển trong tương lai, nhóm đề xuất một số hướng phát triển hệ thống như sau:

- Tích hợp tính năng cảnh báo sớm khi các thông số vượt ngưỡng an toàn, thông qua tin nhắn SMS hoặc ứng dụng di động.
- Ứng dụng năng lượng mặt trời và hệ thống pin lưu trữ để vận hành độc lập, phù hợp với các khu vực nông thôn còn hạn chế về điện lưới.
- Kết nối với trạm quan trắc môi trường mini (nhiệt độ, thời tiết) nhằm dự báo sớm các biến động ảnh hưởng đến chất lượng nước.

Phát triển nền tảng mở để sinh viên, nhà nghiên cứu và người nuôi dễ dàng tiếp cận, cải tiến và mở rộng hệ thống cho các đối tượng thủy sản khác

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] M. Flores-Iwasaki, G. A. Guadalupe, M. Pachas-Caycho, and S. Chapa-Gonza, "Internet of Things (IoT) Sensors for Water Quality Monitoring in Aquaculture Systems: A Systematic Review and Bibliometric Analysis," *AgriEngineering*, vol. 7, no. 3, p. 78, 2025.

[2] R. Baena-Navarro, Y. Carriazo-Regino, F. Torres-Hoyos, and J. Pinedo-López, "Intelligent Prediction and Continuous Monitoring of Water Quality in Aquaculture: Integration of Machine Learning and Internet of Things for Sustainable Management," *Water*, vol. 17, no. 1, p. 82, 2025.

[3] M. F. Bachtar, R. Hidayat, and R. Anantama, "Internet of Things (IoT) Based Aquaculture Monitoring System," *MATEC Web of Conferences*,

vol. 372, p. 04009, 2022.

[4] O. O. Olanubi, et al., "Design and Development of an IoT-Based Intelligent Water Quality Monitoring System," *J. Eng. Sci. Inf. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 112–123, 2024.

[5] Vietnam Academy of Science and Technology, "Vietnam applies IoT in aquaculture," *Vietfish Magazine*, 2023. [Online]. Available: <https://vietfishmagazine.com/aquaculture/vietnam-applies-iot-in-aquaculture.html>

[6] A. M. Rohim, "Development of Tools Growth Catfish Based on the Internet of Things (IoT)," in *Proc. Int. Conf. Smart Tech. Aquaculture*, 2022.

[7] C. H. Chen, et al., "IoT-Based Fish Farm Water Quality Monitoring System," *Sensors*, vol. 22, no. 15, p. 5608, 2022.

[8] P. Lindholm-Lehto, "Water quality monitoring in recirculating aquaculture systems," *Aquac. Fish Finance*, vol. 1, no. 2, pp. 12–20, 2023.

[9] S. AlMetwally, "Connecting Aquaculture to the Internet of Things: A Model," *SSRN Electron. J.*, 2024. [Online]. Available: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=4920178](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4920178)

[10] S. AlMetwally, et al., "Application of the Internet of Things Technology (IoT) in Designing an Automatic Water Quality Monitoring System for Aquaculture Ponds," *Vietnam J. Agric. Sci.*, vol. 5, no. 1, pp. 55–65, 2021