



Rancang Bangun Sistem Monitoring pH Air Laut dan *Ballast* pada *Unmanned Surface Vehicle (USV)* Berbasis *Internet of Things*

Moch Izzat Sepviego Al Zandy^{1*}, Sonhaji², Akhmad Kasan Gupron³

^{1,2,3} Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

Penulis Korespondensi: viegoalz518@gmail.com

Abstract. This study presents the development of an Internet of Things (IoT)-based monitoring system for seawater pH and ballast water level on an Unmanned Surface Vehicle (USV). The increasing use of USVs in maritime operations requires a monitoring system capable of observing environmental conditions and vessel stability in real time. The proposed system integrates an ESP32 microcontroller, an Analog DFRobot pH sensor, and an HC-SR04 ultrasonic sensor. Sensor data are transmitted using the MQTT protocol through a Wi-Fi network and visualized on a Node-RED dashboard. Experimental results demonstrate that the developed system successfully acquires, transmits, and displays seawater pH and ballast water level data in real time. The integration of both monitoring parameters within a single IoT platform provides an effective solution for supporting autonomous maritime operations and environmental monitoring.

Keywords : Ballast water level; ESP32; Internet of Things; Node-RED; USV

Abstrak. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem monitoring pH air laut dan *ballast water level* berbasis *Internet of Things* (IoT) pada *Unmanned Surface Vehicle* (USV). Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, sensor pH Analog DFRobot untuk mengukur tingkat keasaman air laut, serta sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur ketinggian air *ballast*. Data sensor dikirim menggunakan protokol MQTT melalui jaringan Wi-Fi dan divisualisasikan secara *real-time* pada *dashboard* Node-RED. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan akuisisi, pengiriman, dan visualisasi data dengan baik sehingga kondisi pH air laut dan *ballast water level* dapat dipantau secara *real-time*. Integrasi kedua parameter tersebut dalam satu platform monitoring memberikan solusi yang lebih efektif untuk mendukung pemantauan kondisi lingkungan dan stabilitas operasional USV.

Kata Kunci : Ballast water level; ESP32; Internet of Things; Node-RED; USV

1. LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi maritim telah mendorong penggunaan *Unmanned Surface Vehicle* (USV) sebagai wahana tanpa awak untuk mendukung berbagai aktivitas di lingkungan perairan. USV dapat dioperasikan secara otomatis maupun dikendalikan dari jarak jauh untuk melaksanakan kegiatan seperti survei perairan, penelitian oseanografi, pemantauan lingkungan laut, pengawasan wilayah perairan, dan pengambilan data pada lokasi yang berisiko bagi manusia. Penggunaan USV memberikan beberapa keunggulan, antara lain meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi keterlibatan langsung manusia, serta memungkinkan proses pengambilan data dilakukan secara berkelanjutan pada wilayah yang sulit dijangkau (Haizol & Mohd Shah, 2024; Zohedi et al., 2025).

Salah satu penerapan USV dalam bidang lingkungan adalah pemantauan kualitas perairan. Pemantauan tersebut diperlukan untuk memperoleh informasi mengenai perubahan kondisi air yang dapat memengaruhi keseimbangan ekosistem maupun aktivitas organisme di dalamnya. Sejumlah penelitian telah mengembangkan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memantau parameter kualitas air seperti pH, suhu, ketinggian air,

amonia, dan parameter lingkungan lainnya secara *real-time* (Mardiyono et al., 2025; Andiyansyah et al., 2025; Soambaton et al., 2025; Widodo et al., 2025). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa integrasi sensor, mikrokontroler, jaringan internet, dan platform monitoring dapat membantu pengguna memperoleh data kondisi perairan secara cepat tanpa harus melakukan pengukuran langsung secara terus-menerus.

Derajat keasaman atau pH merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kondisi kualitas air. Perubahan nilai pH dapat menunjukkan terjadinya perubahan karakteristik perairan maupun masuknya bahan tertentu yang berpotensi mengganggu lingkungan. Nilai pH juga berhubungan dengan proses kimia perairan dan aktivitas biologis organisme akuatik. Oleh karena itu, pemantauan pH secara kontinu diperlukan agar perubahan kondisi air dapat diketahui lebih awal. Penelitian mengenai monitoring kualitas air berbasis IoT telah menunjukkan bahwa sensor pH dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler dan platform monitoring untuk menampilkan hasil pengukuran secara *real-time* melalui perangkat pengguna (Mardiyono et al., 2025; Andiyansyah et al., 2025; Rohim et al., 2024; Wijaya et al., 2023).

Selain kondisi lingkungan perairan, aspek teknis wahana juga perlu diperhatikan dalam pengoperasian USV. Salah satu aspek tersebut adalah stabilitas dan keseimbangan wahana yang dipengaruhi oleh distribusi massa serta kondisi air di dalam tangki *ballast*. *Ballast* digunakan untuk membantu mempertahankan keseimbangan, trim, dan stabilitas wahana selama beroperasi. Perubahan volume air *ballast* dapat menyebabkan perubahan distribusi beban dan posisi pusat gravitasi sehingga berpotensi memengaruhi keseimbangan serta kemampuan manuver USV (Singh et al., 2023). Pada wahana tanpa awak, kondisi tangki *ballast* tidak dapat diamati secara langsung oleh operator ketika USV berada di perairan. Oleh sebab itu, diperlukan sistem yang dapat memberikan informasi mengenai ketinggian atau volume air *ballast* secara *real-time*.

Pemantauan *ballast water level* dalam penelitian ini tidak ditujukan untuk melakukan pengisian atau pengosongan *ballast* secara otomatis. Sistem hanya digunakan untuk mengetahui perubahan ketinggian air di dalam tangki *ballast* agar operator dapat memantau kondisi internal wahana selama USV beroperasi. Informasi tersebut dapat membantu operator mengetahui kemungkinan terjadinya penambahan, pengurangan, atau perubahan volume air yang dapat memengaruhi keseimbangan wahana. Pemantauan secara *real-time* juga memungkinkan operator melakukan pemeriksaan atau penyesuaian apabila kondisi *ballast* dianggap tidak sesuai dengan kebutuhan operasional USV (Rahman, 2023; Priadi et al., 2025).

Teknologi *Internet of Things* dapat digunakan untuk mengintegrasikan proses pembacaan sensor, pengolahan data, pengiriman data, dan visualisasi informasi dalam satu sistem monitoring. IoT memungkinkan perangkat fisik yang dilengkapi sensor dan mikrokontroler terhubung melalui jaringan internet sehingga data dapat dikumpulkan serta diakses dari lokasi yang berbeda. Penerapan IoT pada sistem monitoring dapat meningkatkan efisiensi pengumpulan data, mendukung pemantauan secara *real-time*, dan mempermudah penyajian informasi melalui platform digital (Alsaadi & Tubaishat, 2024; Degadwala, 2023; Pratama et al., 2023; Rahman, 2023). Mikrokontroler ESP32 sesuai digunakan pada aplikasi tersebut karena memiliki kemampuan pemrosesan data serta modul Wi-Fi terintegrasi yang mendukung komunikasi berbasis internet.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan IoT untuk monitoring kualitas air. Mardiyono et al. (2025) mengembangkan sistem peringatan kualitas air berbasis cloud pada akuarium dengan menggunakan sensor pH, sensor suhu, dan ESP32. Sistem tersebut mampu menampilkan kondisi kualitas air secara *real-time* serta memberikan peringatan ketika nilai yang diukur berada di luar batas yang ditentukan. Penelitian Andiyansyah et al. (2025) juga mengembangkan sistem monitoring pH dan suhu pada budidaya ikan koi berbasis IoT. Sementara itu, Priadi et al. (2025) membahas pengembangan sistem monitoring berbasis IoT pada wahana permukaan tanpa awak. Penelitian-penelitian tersebut membuktikan bahwa IoT dapat diterapkan untuk mendukung pemantauan kondisi perairan maupun operasional wahana secara jarak jauh.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada pemantauan parameter kualitas air, seperti pH dan suhu, atau pada parameter operasional wahana secara terpisah. Integrasi antara pemantauan pH air laut sebagai parameter lingkungan dan *ballast water level* sebagai parameter kondisi internal USV dalam satu sistem monitoring masih terbatas. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kebutuhan untuk mengembangkan sistem yang mampu menyajikan informasi lingkungan perairan dan kondisi *ballast* secara bersamaan. Integrasi kedua parameter tersebut diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih komprehensif kepada operator selama USV melaksanakan kegiatan monitoring.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini merancang dan membangun sistem monitoring pH air laut dan *ballast water level* pada prototype *Unmanned Surface Vehicle* berbasis *Internet of Things*. Sistem menggunakan sensor pH Analog DFRobot untuk mengukur tingkat keasaman air, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur ketinggian air di dalam tangki *ballast*, dan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan serta

pengiriman data. Data hasil pembacaan sensor dikirim melalui jaringan Wi-Fi menggunakan protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), kemudian divisualisasikan secara *real-time* melalui *dashboard* Node-RED.

Kontribusi penelitian ini terletak pada pengintegrasian monitoring pH air laut dan *ballast water level* dalam satu platform IoT pada prototype USV. Sistem tersebut tidak hanya menyajikan informasi mengenai kondisi lingkungan perairan, tetapi juga memberikan informasi mengenai kondisi air *ballast* yang berkaitan dengan operasional wahana. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring tersebut, menganalisis hasil pembacaan sensor pH dan sensor *ballast water level*, serta mengetahui kemampuan sistem dalam mengirimkan dan menampilkan data secara *real-time* melalui *dashboard* Node-RED.

2. KAJIAN TEORITIS

Unmanned Surface Vehicle (USV)

Unmanned Surface Vehicle (USV) merupakan wahana permukaan tanpa awak yang dapat dioperasikan secara otonom maupun melalui kendali jarak jauh untuk mendukung berbagai aktivitas maritim, seperti survei hidrografi, pemetaan batimetri, pemantauan kualitas air, penelitian oseanografi, dan pengawasan wilayah perairan. Penggunaan USV memberikan berbagai keuntungan, antara lain meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi risiko terhadap personel, serta memungkinkan pengambilan data pada area yang sulit dijangkau oleh kapal berawak. Oleh karena itu, USV menjadi salah satu platform yang banyak dikembangkan dalam berbagai aplikasi monitoring lingkungan laut (Haizol & Mohd Shah, 2024; Zohedi et al., 2025).

pH Air Laut

Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu parameter utama dalam menentukan kualitas air laut karena berpengaruh terhadap keseimbangan ekosistem, aktivitas biologis organisme perairan, dan berbagai proses kimia yang terjadi di lingkungan laut. Perubahan nilai pH dapat menjadi indikator adanya pencemaran maupun perubahan karakteristik perairan sehingga diperlukan sistem monitoring yang mampu melakukan pengukuran secara kontinu dan *real-time*. Pemantauan pH berbasis *Internet of Things* telah banyak diterapkan untuk mendukung pengelolaan kualitas air secara lebih efektif (Mardiyono et al., 2025; Andiyansyah et al., 2025; Rohim et al., 2024).

Ballast water level

Ballast water merupakan air yang disimpan di dalam tangki *ballast* untuk menjaga keseimbangan, stabilitas, dan trim kapal maupun *Unmanned Surface Vehicle* selama beroperasi. Perubahan volume air *ballast* dapat memengaruhi distribusi massa serta posisi pusat gravitasi sehingga berdampak terhadap stabilitas dan performa navigasi. Oleh karena itu, monitoring *ballast water level* diperlukan agar kondisi operasional wahana dapat diketahui secara *real-time* dan tindakan penyesuaian dapat dilakukan apabila diperlukan (Singh et al., 2023; Priadi et al., 2025).

Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang menghubungkan berbagai perangkat fisik melalui jaringan internet sehingga memungkinkan proses akuisisi, pengiriman, penyimpanan, dan monitoring data secara *real-time*. Dalam sistem monitoring modern, IoT memungkinkan sensor, mikrokontroler, serta platform visualisasi saling terintegrasi sehingga pengguna dapat mengakses informasi dari lokasi yang berbeda. Penerapan IoT pada bidang maritim mampu meningkatkan efisiensi proses monitoring serta mendukung pengambilan keputusan secara lebih cepat berdasarkan data yang diperoleh secara langsung (Alsaadi & Tubaishat, 2024; Degadwala, 2023; Pratama et al., 2023).

ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang banyak digunakan pada aplikasi *Internet of Things* karena telah dilengkapi modul Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi. ESP32 memiliki kemampuan pemrosesan data yang baik, konsumsi daya relatif rendah, serta mendukung berbagai antarmuka komunikasi dengan sensor. Pada penelitian ini ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali sistem yang menerima data dari sensor pH dan sensor HC-SR04, mengolah hasil pembacaan sensor, kemudian mengirimkan data menuju platform monitoring menggunakan jaringan Wi-Fi (Degadwala, 2023).

Sensor Analog DFRobot pH

Sensor Analog DFRobot pH merupakan sensor elektrokimia yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman air pada rentang pH 0–14. Sensor terdiri atas probe pH dan modul pengkondisi sinyal yang menghasilkan keluaran berupa tegangan analog sehingga mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler. Pada penelitian ini sensor digunakan untuk mengukur nilai pH air laut secara *real-time* sebelum data dikirim menuju sistem monitoring berbasis IoT (Andiyansyah et al., 2025).

Sensor Ultrasonik HC-SR04

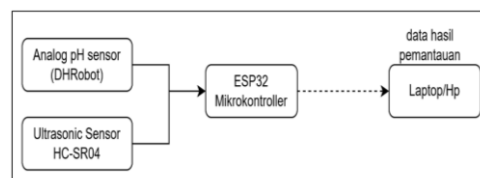
Sensor HC-SR04 merupakan sensor ultrasonik yang bekerja berdasarkan prinsip pemantulan gelombang suara untuk mengukur jarak suatu objek. Sensor terdiri atas transmitter dan receiver yang bekerja pada frekuensi sekitar 40 kHz. Dalam penelitian ini sensor digunakan untuk mengukur tinggi permukaan air pada tangki *ballast* sehingga perubahan volume air *ballast* dapat dipantau secara *real-time* tanpa kontak langsung dengan media air. Sensor ini memiliki rentang pengukuran sekitar 2–400 cm sehingga sesuai digunakan pada sistem monitoring *ballast* (Hossain et al., 2023).

Node-RED

Node-RED merupakan platform pemrograman berbasis flow yang digunakan untuk menghubungkan perangkat *Internet of Things*, mengolah data, serta menampilkan hasil monitoring melalui *dashboard* berbasis web. Platform ini memungkinkan proses integrasi data dari berbagai sensor melalui protokol komunikasi seperti MQTT sehingga informasi dapat divisualisasikan secara *real-time* dalam bentuk gauge, grafik, maupun indikator digital. Pada penelitian ini Node-RED digunakan sebagai media visualisasi data pH air laut dan *ballast water level* yang dikirimkan oleh ESP32 melalui broker MQTT (Node-RED, 2025).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan merancang, membangun, dan menguji sistem monitoring pH air laut dan *ballast water level* berbasis *Internet of Things* (IoT) pada prototype *Unmanned Surface Vehicle* (USV). Tahapan penelitian meliputi perancangan sistem, integrasi perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi sistem komunikasi data, serta pengujian kinerja sistem secara keseluruhan.



Gambar 1. Blok Diagram

Sumber: Oleh Peneliti (2026)

Gambar 1 menunjukkan arsitektur sistem monitoring yang dikembangkan. Sensor pH dan sensor HC-SR04 berfungsi sebagai perangkat akuisisi data yang terhubung dengan ESP32. Selanjutnya data dikirimkan menggunakan protokol MQTT menuju broker dan ditampilkan

secara *real-time* pada *dashboard* Node-RED sehingga pengguna dapat memantau kondisi pH air laut dan *ballast water level* dari jarak jauh.

Sistem monitoring terdiri atas mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali, sensor Analog DFRobot pH Meter untuk mengukur nilai pH air laut, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur tinggi permukaan air *ballast*, serta modul Wi-Fi yang terintegrasi pada ESP32 sebagai media komunikasi data. Data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32 kemudian dikirimkan menggunakan protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) menuju broker dan divisualisasikan secara *real-time* melalui *dashboard* Node-RED.

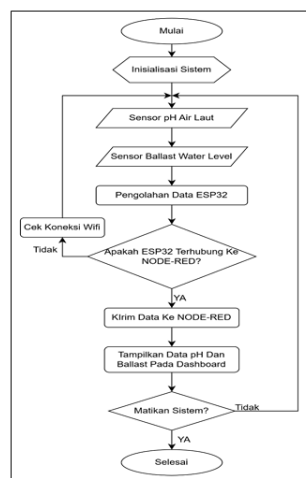
Tabel 1. Spesifikasi Koneksi Perangkat

No	Komponen	Spesifikasi	Fungsi
1	ESP32 DevKit V1	Dual Core WiFi	Kontrol utama
2	Analog DFRobot pH Meter	0–14 pH	Sensor pH
3	HC-SR04	2–400 cm	Sensor <i>ballast</i>
4	MQTT Broker	Mosquitto	Komunikasi
5	Node-RED	<i>Dashboard</i>	Visualisasi

Sumber: Oleh Peneliti (2026)

Tabel 1 menunjukkan spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan pada sistem monitoring. Pengujian sensor pH dilakukan menggunakan beberapa larutan buffer sebagai acuan untuk mengetahui tingkat akurasi hasil pengukuran. Pengujian sensor HC-SR04 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap pengukuran menggunakan mistar pada beberapa variasi tinggi permukaan air *ballast*. Selanjutnya dilakukan pengujian komunikasi data untuk memastikan data hasil pembacaan sensor dapat dikirim dan ditampilkan pada *dashboard* Node-RED secara *real-time* tanpa kehilangan data.

Hasil pengujian kemudian dianalisis berdasarkan tingkat akurasi sensor, kestabilan komunikasi data, serta kemampuan sistem dalam melakukan monitoring pH air laut dan *ballast water level* secara *real-time* pada prototype USV.



Sumber: Oleh Peneliti (2026)

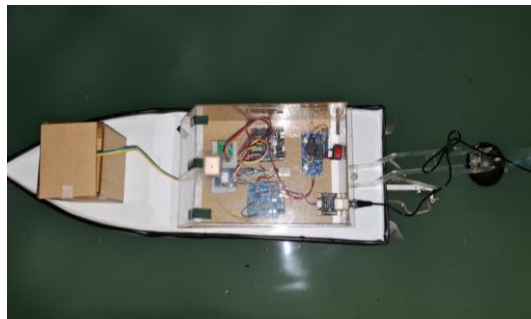
Gambar 2. General Flowchart

Gambar 2 menunjukkan alur kerja sistem monitoring. Setelah ESP32 melakukan inisialisasi perangkat, sensor pH dan sensor HC-SR04 membaca data secara periodik. Data yang diperoleh diproses oleh ESP32 kemudian dikirim menggunakan protokol MQTT ke broker. *Dashboard* Node-RED menerima data tersebut dan menampilkan informasi monitoring secara *real-time*. Proses ini berlangsung secara berulang selama sistem dioperasikan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Implementasi Sistem

Sistem monitoring yang dikembangkan berhasil diimplementasikan pada prototype *Unmanned Surface Vehicle* (USV) dengan mengintegrasikan sensor Analog DFRobot pH Meter, sensor ultrasonik HC-SR04, mikrokontroler ESP32, protokol MQTT, serta *dashboard* Node-RED. Seluruh komponen mampu bekerja sesuai dengan fungsi yang telah dirancang. Sensor pH digunakan untuk mengukur tingkat keasaman air laut, sedangkan sensor HC-SR04 digunakan untuk memantau ketinggian air pada tangki *ballast*. Data hasil pembacaan kedua sensor diproses oleh ESP32, kemudian dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi menggunakan protokol MQTT menuju *dashboard* Node-RED sehingga informasi dapat dipantau secara *real-time*.



Sumber: Dokumentasi Oleh Peneliti (2026)

Gambar 3. Prototype Sistem Monitoring pH Air Laut dan *Ballast water level* pada
Unmanned Surface Vehicle

Gambar 3 menunjukkan prototype USV yang telah direalisasikan beserta sistem monitoring yang terpasang. Penempatan sensor pH pada bagian bawah lambung memungkinkan sensor bersentuhan langsung dengan air laut selama pengujian, sedangkan sensor HC-SR04 dipasang di bagian atas tangki *ballast* untuk mengukur tinggi permukaan air tanpa kontak langsung dengan media. Integrasi seluruh komponen menghasilkan sistem monitoring yang mampu melakukan proses akuisisi dan pengiriman data secara simultan selama prototype dioperasikan.

Pengujian Sensor pH

Pengujian sensor pH dilakukan menggunakan larutan buffer sebagai media kalibrasi untuk mengetahui tingkat akurasi sensor sebelum digunakan pada prototype USV. Nilai pembacaan sensor dibandingkan dengan nilai referensi larutan buffer sehingga dapat diketahui kesesuaian hasil pengukuran.

Tabel 2. Hasil Kalibrasi Sensor pH

Larutan Buffer	Nilai Referensi (pH)	Nilai Sensor (pH)	Error (%)
Buffer 4	4,00	3,98	0,50
Buffer 4	4,00	4,02	0,50
Buffer 4	4,00	4,01	0,25
Buffer 7	7,00	6,98	0,29
Buffer 7	7,00	7,02	0,29
Rata-rata	-	-	0,37

Sumber: Diolah Oleh Peneliti (2026)

Berdasarkan Tabel 2, hasil pembacaan sensor menunjukkan nilai yang sangat mendekati nilai referensi larutan buffer. Selisih pembacaan yang relatif kecil menunjukkan bahwa proses kalibrasi telah berjalan dengan baik sehingga sensor Analog DFRobot memiliki tingkat akurasi yang memadai untuk diterapkan pada sistem monitoring kualitas air laut. Perbedaan kecil yang masih muncul dipengaruhi oleh karakteristik elektroda sensor, proses kalibrasi, serta kondisi lingkungan pada saat pengujian. Meskipun demikian, nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi sehingga tidak mempengaruhi kinerja sistem monitoring secara keseluruhan.

Pengujian Sensor *Ballast water level*

Pengujian sensor HC-SR04 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap hasil pengukuran menggunakan mistar pada beberapa variasi tinggi permukaan air *ballast*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi perubahan volume air pada tangki *ballast*.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor HC-SR04

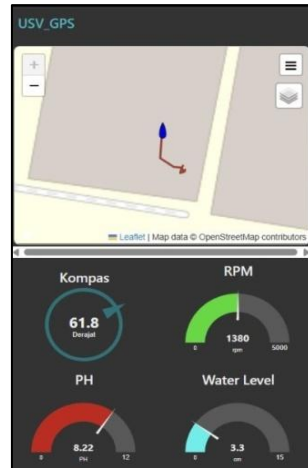
Pengujian	Tinggi Aktual	Hasil Sensor
1	3,5 cm	3,6 cm
2	3,0 cm	2,9 cm
3	6,3 cm	6,3 cm

Sumber: Diolah Oleh Peneliti

Berdasarkan hasil pengujian, sensor HC-SR04 mampu mengukur tinggi permukaan air *ballast* dengan tingkat akurasi yang baik. Selisih antara hasil pengukuran sensor dan pengukuran manual relatif kecil sehingga sensor dinilai mampu mendeteksi perubahan volume *ballast* secara konsisten. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor ultrasonik layak digunakan sebagai perangkat monitoring *ballast water level* pada prototype USV. Selain itu, penggunaan sensor tanpa kontak langsung dengan air juga meminimalkan risiko kerusakan akibat korosi sehingga lebih sesuai untuk aplikasi monitoring jangka panjang.

Pengujian Komunikasi Data MQTT

Pengujian komunikasi data dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengirimkan data hasil pembacaan sensor dari ESP32 menuju *dashboard* Node-RED menggunakan protokol MQTT. Parameter yang diamati meliputi keberhasilan pengiriman data, waktu respons sistem, dan kestabilan komunikasi selama proses monitoring berlangsung.



Sumber: Dokumentasi Oleh Peneliti (2026)

Gambar 4. *Dashboard* Monitoring Node-RED

Gambar 4 menunjukkan tampilan *dashboard* Node-RED yang digunakan sebagai media visualisasi data hasil monitoring. *Dashboard* mampu menampilkan nilai pH air laut dan *ballast water level* secara *real-time* sehingga pengguna dapat memantau kondisi prototype USV dari jarak jauh. Selama proses pengujian, komunikasi data berlangsung dengan stabil tanpa kehilangan data yang signifikan selama koneksi jaringan Wi-Fi berada dalam kondisi baik. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi ESP32, MQTT, dan Node-RED mampu mendukung sistem monitoring berbasis *Internet of Things* secara efektif.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi sensor Analog DFRobot pH Meter, sensor ultrasonik HC-SR04, mikrokontroler ESP32, protokol MQTT, dan *dashboard* Node-RED mampu menghasilkan sistem monitoring yang bekerja secara *real-time* pada prototype *Unmanned Surface Vehicle* (USV). Sistem mampu melakukan proses akuisisi data, pengolahan data, pengiriman melalui jaringan Wi-Fi, serta visualisasi hasil pengukuran pada *dashboard* monitoring secara berkelanjutan. Integrasi seluruh komponen tersebut menunjukkan bahwa teknologi *Internet of Things* dapat diterapkan secara efektif untuk mendukung monitoring kondisi lingkungan dan operasional USV.

Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa sensor Analog DFRobot memiliki tingkat akurasi yang baik dengan nilai pembacaan yang mendekati nilai referensi larutan buffer. Error rata-

rata yang relatif kecil menunjukkan bahwa proses kalibrasi telah dilakukan dengan baik sehingga sensor mampu memberikan hasil pengukuran yang representatif untuk aplikasi monitoring kualitas air laut. Perbedaan kecil antara nilai referensi dan hasil pembacaan sensor dipengaruhi oleh karakteristik elektroda, proses kalibrasi, serta resolusi pembacaan Analog-to-Digital Converter (ADC) pada ESP32. Meskipun demikian, nilai error tersebut masih berada dalam batas yang dapat diterima sehingga tidak memengaruhi kinerja sistem monitoring secara keseluruhan.

Pada pengujian *ballast water level*, sensor ultrasonik HC-SR04 mampu mengukur tinggi permukaan air dengan selisih pengukuran yang relatif kecil dibandingkan hasil pengukuran manual menggunakan mistar. Penggunaan sensor ultrasonik memberikan keuntungan karena proses pengukuran dilakukan tanpa kontak langsung dengan air sehingga dapat mengurangi risiko korosi maupun kerusakan sensor ketika digunakan dalam lingkungan maritim. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor HC-SR04 layak digunakan sebagai perangkat monitoring *ballast water level* pada prototype USV.

Komunikasi data menggunakan protokol MQTT juga menunjukkan kinerja yang stabil selama proses pengujian. Seluruh data hasil pembacaan sensor berhasil dikirimkan oleh ESP32 melalui jaringan Wi-Fi dan ditampilkan pada *dashboard* Node-RED secara *real-time* tanpa kehilangan data yang signifikan selama koneksi jaringan berada dalam kondisi baik. Hal tersebut menunjukkan bahwa kombinasi ESP32, MQTT, dan Node-RED mampu membentuk sistem monitoring berbasis *Internet of Things* yang sederhana, efisien, dan mudah diimplementasikan pada prototype USV.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Mardiyono et al. (2025) yang mengembangkan sistem monitoring kualitas air berbasis *Internet of Things* menggunakan ESP32 dan sensor pH. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa teknologi IoT mampu melakukan monitoring parameter kualitas air secara *real-time* melalui platform berbasis cloud. Selain itu, penelitian Andiyansyah et al. (2025) juga menunjukkan bahwa integrasi sensor pH dengan mikrokontroler berbasis IoT mampu menghasilkan sistem monitoring yang memiliki performa pengukuran dan visualisasi data secara *real-time* pada media budidaya perairan. Hasil tersebut memperkuat bahwa penerapan *Internet of Things* merupakan pendekatan yang efektif dalam pengembangan sistem monitoring kualitas air.

Penelitian ini juga memiliki keterkaitan dengan penelitian Priadi et al. (2025) mengenai pengembangan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* pada *Unmanned Surface Vehicle*. Namun demikian, penelitian ini memberikan kontribusi tambahan dengan mengintegrasikan pemantauan pH air laut sebagai parameter kualitas lingkungan dan *ballast water level* sebagai

parameter kondisi internal wahana dalam satu platform monitoring. Integrasi kedua parameter tersebut memungkinkan operator memperoleh informasi mengenai kondisi lingkungan perairan sekaligus kondisi operasional USV secara bersamaan melalui *dashboard* Node-RED.

Dengan demikian, sistem yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai media monitoring kualitas air laut, tetapi juga sebagai sarana pemantauan kondisi *ballast* yang berkaitan dengan stabilitas operasional wahana. Integrasi kedua parameter tersebut diharapkan dapat mendukung pengoperasian *Unmanned Surface Vehicle* secara lebih efektif serta menjadi salah satu alternatif pengembangan sistem monitoring maritim berbasis *Internet of Things*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring pH air laut dan *ballast water level* pada prototype *Unmanned Surface Vehicle* (USV) berbasis *Internet of Things* menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor Analog DFRobot pH Meter, sensor ultrasonik HC-SR04, protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), serta *dashboard* Node-RED. Integrasi seluruh komponen tersebut memungkinkan proses akuisisi, pengolahan, pengiriman, dan visualisasi data dilakukan secara *real-time* sehingga kondisi lingkungan perairan dan kondisi internal wahana dapat dipantau secara bersamaan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor pH mampu memberikan hasil pengukuran dengan tingkat akurasi yang baik, ditunjukkan oleh nilai error rata-rata sebesar 0,37% setelah proses kalibrasi. Sensor HC-SR04 juga mampu mengukur ketinggian air pada tangki *ballast* dengan selisih pengukuran yang relatif kecil dibandingkan hasil pengukuran manual. Selain itu, komunikasi data menggunakan MQTT berjalan dengan baik sehingga data dari kedua sensor dapat diterima dan divisualisasikan secara *real-time* pada *dashboard* Node-RED tanpa kendala yang berarti selama koneksi jaringan tersedia.

Kontribusi utama penelitian ini adalah mengintegrasikan monitoring pH air laut sebagai parameter kualitas lingkungan dan *ballast water level* sebagai parameter kondisi operasional USV dalam satu platform *Internet of Things*. Integrasi tersebut memberikan informasi yang lebih komprehensif kepada operator mengenai kondisi lingkungan perairan sekaligus kondisi internal wahana sehingga dapat mendukung proses monitoring secara lebih efektif.

Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan menambahkan parameter kualitas air lainnya, seperti suhu, salinitas, dissolved oxygen (DO), maupun turbidity, serta mengintegrasikan sistem monitoring dengan pengendalian *ballast* secara otomatis agar

kemampuan operasional USV menjadi lebih adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Pelayaran Surabaya yang telah memberikan dukungan fasilitas penelitian. Penulis juga menyampaikan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada Bapak Sonhaji, S.T., M.T. dan Bapak Akhmad Khasan Gupron, M.Pd. selaku dosen pembimbing atas bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berarti selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR REFERENSI

- Alsaadi, E., & Tubaishat, A. (2024). Recent advances in *Internet of Things* applications. *Journal of Network and Computer Applications*, 220, 103580.
- Anggi Mardiyono, Andi Ariawan Suhandana & Muhammad Yusuf Bagus Rasyiidin,(2025) “Sistem Peringatan Kualitas Air dengan Teknologi IoT Berbasis Cloud pada Akuarium Air Tawar,”
- Arif Widodo, R. Alfia, N. Nurhayati & N. Kholis,(2025) “Sistem Monitoring Kualitas Air pada Sistem Akuaponik Berbasis IoT,”
- Arif Widodo, Risma Alfia, Nurhayati & Nur Kholis,(2025) “Sistem Monitoring Kualitas Air pada Sistem Akuaponik Berbasis IoT,”
- Degadwala, S. (2023). ESP32-based smart monitoring systems for IoT applications. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 12(6), 455–460.
- Haizol, A. N., & Mohd Shah, S. (2024). *Unmanned Surface Vehicle (USV) for Water and Aquatic Pollution Monitoring Using IoT*
- Hossain, M. S., Rahman, M. M., & Islam, M. (2023). Ultrasonic sensor-based water level measurement system. *IEEE Access*, 11, 55210–55218.
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
- Muhamad Febrian Soambaton, Djuniadi & Abdurrakhman Hamid Al-Azhari,(2025) “Monitoring Kolam Ikan Nila Berbasis IoT dengan Sensor Amonia, Suhu, Ketinggian, dan pH,”
- Novan Andiyansyah, R., Zainuri, A., & Nurussa’adah,(2025) “Sistem Monitoring pH dan Suhu Air Berbasis IoT di Budidaya Ikan Koi Ijen Malang,”
- Node-RED. (2025). Node-RED: Low-code programming for event-driven applications (Version 4.x) [Software]. OpenJS Foundation.
- Pratama, R., Suryadi, A., & Nugroho, D. (2023). IoT-based environmental monitoring system using ESP32. *Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 21(2), 85–92.

- Priadi, A. A., et al. (2025). Development of IoT-Based Monitoring for Unmanned Surface Vessels
- Rahman, A. (2023). Implementation of IoT for *real-time* monitoring systems. *Journal of Information Technology*, 18(1), 25–32.
- Rohim, M. H., Susanto, A., & Munazilin, A., (2024)“Sistem Monitoring Suhu dan pH Air Tambak Udang Vaname Berbasis *Internet of Things* (IoT),”
- Singh, A., Verma, R., & Gupta, P. (2023). Fluid transfer system design for marine applications. *Journal of Fluid Engineering*, 145(6), 061201.
- Sugiyono. (2022). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta.
- Wijaya, I. I. P., Susilawati, I., & Akbar, M.,(2023) “Sistem Monitoring Ketinggian dan pH Air pada Kolam Bibit Ikan Bawal Berbasis IoT,”
- Zohedi, F. N., Tan, S. N., Mohd Aras, M. S. M., & Md Zain, Z. (2025). *Unmanned Surface Vehicle for Water Quality Monitoring*.