

LAPORAN TUGAS AKHIR
PROTOTIPE

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PH AIR LAUT
DAN BALLAST PADA *UNMANED SURFACE VEHICLE (USV)*
BERBASIS *IOT***



MOCH IZZAT SEPVIEGO AL ZANDY
NIT. 22 36 30 73 006

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan program pendidikan sarjana terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KELISTRIKAN KAPAL
TAHUN 2026

LAPORAN TUGAS AKHIR

PROTOTIPE

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PH AIR LAUT
DAN BALLAST PADA *UNMANED SURFACE VEHICLE (USV)*
BERBASIS *IOT***



MOCH IZZAT SEPVIEGO AL ZANDY

NIT. 22 36 30 73 006

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan program pendidikan sarjana terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KELISTRIKAN KAPAL
TAHUN 2026

PERSYARATAN KEASLIAN

Yang tertanda di bawah ini:

Nama : Moch Izzat Sepviego Al Zandy

Nomor Induk Taruna : 22363073006

Program : Diploma IV Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Menyatakan bahwa KIT ini yang saya tulis dengan judul:

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PH AIR LAUT
DAN BALLAST PADA UNMANED SURFACE VEHICLE (USV)
BERBASIS IOT**

Merupakan karya asli seluruh ide yang ada dalam KIT tersebut, kecuali tema dan yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide saya sendiri. Jika pernyataan di atas terbukti tidak benar, maka saya sendiri menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Surabaya.

Surabaya, 24 July 2026



MOCH IZZAT SEPVIEGO AL. Z.
NIT 22363073006

ABSTRAK

MOCH IZZAT SEPVIEGO AL ZANDY, rancang bangun system monitoring pH air laut dan *ballast* pada usv berbasis IoT. Dibimbing oleh Bapak SONHAJI, S.T., M.T dan Bapak AKHMAD KHASAN GUPRON, M.Pd

Perkembangan teknologi maritim pada era Industri 4.0 dan *Society 5.0* mendorong pemanfaatan *Unmanned Surface Vehicle (USV)* sebagai wahana tanpa awak untuk mendukung kegiatan pemantauan lingkungan perairan. Salah satu *parameter* yang perlu dipantau adalah derajat keasaman (pH) air laut dan kondisi *ballast water level* yang berpengaruh terhadap stabilitas operasional *USV*. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem monitoring pH air laut dan *ballast water level* berbasis *Internet of Things (IoT)* pada *USV*. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen yang meliputi tahap perancangan, implementasi, pengujian, dan evaluasi sistem. Perangkat yang digunakan terdiri dari sensor pH *Analog DFRobot*, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur ketinggian air *ballast*, mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan data, serta *platform Node-RED* sebagai media monitoring. Data sensor dikirim melalui jaringan *Wi-Fi* dan ditampilkan secara *real-time* pada *dashboard* yang dapat diakses melalui *smartphone* maupun laptop. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membaca nilai pH dan ketinggian air *ballast* dengan baik serta menampilkan data secara *real-time*. Sistem yang dikembangkan dapat mendukung pemantauan kondisi lingkungan dan stabilitas *USV* secara lebih efektif.

Kata kunci: *USV, Internet of Things (IoT), pH air laut, sistem ballast water level, ESP32, monitoring real-time*

ABSTRAK

MOCH IZZAT SEPVIEGO AL ZANDY, *design of IoT-based safety control system for ship deck space. Supervised by Mr. SONHAJI, S.T., M.T and Mr. AKHMAD KHASAN GUPRON, M.Pd*

The advancement of maritime technology in the Industry 4.0 and Society 5.0 era has encouraged the utilization of Unmanned Surface Vehicles (USV) as autonomous platforms for water environment monitoring. Important parameters that need to be monitored include seawater pH and ballast water level, both of which affect the operational stability of a USV. This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based monitoring system for seawater pH and ballast water level on a USV. The research employed an experimental method consisting of system design, implementation, testing, and evaluation stages. The developed system utilizes an Analog DFRobot pH sensor, an HC-SR04 ultrasonic sensor for measuring ballast water level, an ESP32 microcontroller as the main processing unit, and Node-RED as the monitoring platform. Sensor data are transmitted via a Wi-Fi network and displayed in real time through a dashboard accessible using smartphones and laptops. Testing results indicate that the system is capable of accurately monitoring seawater pH and ballast water level while providing real-time data visualization. The proposed system can support more effective monitoring of environmental conditions and USV stability during operation.

Keywords: *USV, seawater pH, ballast wakter level system, Internet of Things, ESP32, real-time monitoring*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan Karunia dan Rahmat-nya, sehingga penulis dapat menyusun penulisan proposal ini dengan judul “RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PH AIR LAUT PADA USV BERBASIS IoT” Pada kesempatan ini ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Moejiono, M.T., M.Mar.E. selaku Direktur Politeknik Pelayaran Surabaya
2. Bapak Dirhamsyah, S.E., M.Pd. selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal
3. Bapak Sonhaji, S.T., M.T selaku dosen pembimbing I yang selalu sabar memberi arahan dan motivasi.
4. Bapak Akhmad Kasan Gupron, M.Pd. selaku dosen pembimbing II yang selalu memberi arahan dan semangat.
5. Kedua orang tua saya yang selalu memberikan dukungan berupa doa, moral dan material
6. Para pemberi saran dan masukan yang tidak bisa saya sebutkan Namanya.
7. Teman- teman TRKK Angkatan 13

Akhir kata saya berharap semoga KIT dengan judul “RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PH AIR LAUT DAN BALLAST PADA *UNMANED SURFACE VEHICLE(USV)* BERBASIS IoT” ini dapat memberikan manfaat maupun inspirasi terhadap pembaca. Semoga Allah SWT Tuhan semesta alam senantiasa memberikan petunjuk dan lindungan dalam melakukan penelitian yang selanjutnya dituangkan dalam bentuk karya ilmiah terapan.

Surabaya, Maret 2026

MOCH IZZAT SEPVIEGO AL. Z.
NIT 22363073006

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSYARATAN KEASLIAN.....	ii
PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN PROPOSAL TUGAS AKHIR	iii
PERSETUJUAN SEMINAR HASIL TUGAS AKHIR	iv
PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR PROTOTYPE	v
PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR PROROTYPE	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRAK</i>	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Rumusan masalah.....	6
C. Batasan masalah	6
D. Tujuan penelitian.....	7
E. Manfaat penelitian.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
A. Review Penelitian Sebelumnya.....	9
B. Landasan teori	11
1. <i>Internet Of Things</i> (IoT).....	11
2. <i>Unmanned Surface Vehicle</i> (USV).....	12

3. Sistem <i>Ballast</i>	13
4. <i>Mikrokontroller</i> ESP32	14
5. <i>Analog Sensor pH (DFROBOT)</i>	15
6. <i>Sensor Ultrasonik</i> HC-SR04	16
7. <i>Node-RED</i>	17
BAB III METODE PENELITIAN	19
A. Jenis Penelitian.....	19
B. Perancangan <i>System</i>	19
C. Perancangan Alat.....	22
D. Rencana Pengujian	25
1. Pengujian Statis.....	25
2. Pengujian Dinamis	26
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	27
A. Uji Coba Produk.....	27
1. Pengujian Statis.....	27
2. Pengujian Dinamis	34
B. Penyajian Data	39
C. Analisis Data	51
BAB V PENUTUP	65
A. Kesimpulan	65
B. Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	<i>Review</i> Penelitian Sebelumnya.....	9
Tabel 4. 1	Hasil Pengujian ESP32.....	29
Tabel 4. 2	Kalibrasi pH larutan Buffer 4 & 7.....	30
Tabel 4. 3	Hasil Bacaan Sensor.....	33
Tabel 4. 4	Dashboard Monitor Node Red	34
Tabel 4. 5	Pengujian sensor pH.....	37
Tabel 4. 6	Pengujian dinamis HC-SR04	38
Tabel 4. 7	Hasil Kalibrasi Buffer 4	41
Tabel 4. 10	Hasil Buffer 7 Kalibrasi	44
Tabel 4. 11	Grafik Hasil Pengujian Sensor Tinggi Air 3,5 cm.....	45
Tabel 4. 12	Hasil Pengujian Tinggi Air 3,5 cm.....	45
Tabel 4. 13	Grafik Hasil Pengujian Tinggi Air 3 cm.....	46
Tabel 4. 14	Hasil Pengujian Tinggi Air 3 cm	46
Tabel 4. 15	Grafik Hasil Pengujian Sensor 6.3 cm	47
Tabel 4. 16	Hasil Pengujian Tinggi Air 6,3 cm	47
Tabel 4. 17	Penyajian Data Volume Ballast pada Dashboard	48
Tabel 4. 18	Perhitungan Error Sensor pH Analog DFRobot (Buffer pH 4)	53
Tabel 4. 19	Perhitungan Error Sensor pH Analog DFRobot (Buffer pH 7)	53
Tabel 4. 20	Korelasi Tegangan terhadap Nilai pH	54
Tabel 4. 21	Penjelasan nilai ph.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Kapal Budidaya Laut Pintar (Zhanjiang Bay 1).....	2
Gambar 2. 1	<i>Unmanned Surface Vehicle</i> (USV).....	12
Gambar 2. 2	esp32.....	14
Gambar 2. 3	pH DFRobot.....	15
Gambar 2. 4	HC-SR04	16
Gambar 2. 5	Nod Red.....	18
Gambar 3. 1	Blok Diagram	19
Gambar 3. 3	General Flowchart	21
Gambar 3. 4	Wiring Diagram.....	23
Gambar 4. 1	Pengujian Kapal <i>USV</i>	28
Gambar 4. 2	Pengujian ESP32	29
Gambar 4. 3	Pengujian pH DFROBOT Dengan Buffer 4 & 7	30
Gambar 4. 4	Akurasi Bacaan Sensor 3.0 cm.....	31
Gambar 4. 5	Akurasi Bacaan Sensor 3.5 cm.....	32
Gambar 4. 6	Akurasi Bacaan Sensor 6.3 cm.....	32
Gambar 4. 7	Tampilan Monitor Node Red.....	34
Gambar 4. 8	Posisi Sensor Ph Dan Tanki Ballast	35
Gambar 4. 9	Pengujian USV	36
Gambar 4. 10	Tampilan pada monitor capstune.....	36
Gambar 4. 11	Prototype USV yang Telah Direalisasikan	40
Gambar 4. 12	Data pH DFROBOT.....	41
Gambar 4. 13	Grafik Larutahn Buffer 4.....	42
Gambar 4. 14	Grafik Larutan Buffer 7.....	43
Gambar 4. 15	Kalibrasi Sensor Ph	44
Gambar 4. 16	Dashboard Monitoring Volume Ballast 0,29 Liter	49
Gambar 4. 17	Dashboard Monitoring Volume Ballast 0,36 Liter	50
Gambar 4. 18	Dashboard Monitoring Volume Ballast 0,63 Liter	50
Gambar 4. 19	Alur Pengiriman Data Monitoring Menggunakan MQTT	62

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi maritim pada era industri 4.0 hingga *society 5.0* telah mendorong lahirnya berbagai inovasi sistem otomatis dan tanpa awak, salah satunya adalah *Unmanned Surface Vehicle (USV)* atau kapal permukaan tanpa awak. *USV* banyak dimanfaatkan dalam bidang survei kelautan, pemantauan kualitas lingkungan laut (Haizol, 2024), penelitian oseanografi, keamanan perairan, hingga operasi maritim di area berisiko tinggi. Penggunaan *USV* memungkinkan pengambilan data secara kontinu, presisi tinggi, dan minim risiko terhadap keselamatan manusia.

Salah satu parameter penting dalam pemantauan kualitas perairan laut adalah derajat keasaman (pH) air laut. Nilai pH air laut berperan besar dalam menjaga keseimbangan ekosistem laut (IPPC, 2023), karena perubahan pH dapat memengaruhi kehidupan biota laut, proses kimia perairan, serta menjadi indikator pencemaran laut akibat limbah industri, pertanian, maupun aktivitas pelayaran. Kondisi pH yang berada di luar kisaran normal dapat mengganggu pertumbuhan dan reproduksi organisme laut, menurunkan kualitas habitat, serta mempercepat kerusakan ekosistem pesisir seperti terumbu karang dan padang lamun. Penurunan atau kenaikan pH yang tidak normal dapat menyebabkan kerusakan terumbu karang, gangguan fisiologis organisme laut, hingga penurunan produktivitas perikanan. Oleh karena itu, diperlukan sistem *monitoring* pH air laut yang mampu bekerja secara *real-time*, akurat, dan

berkelanjutan.



Gambar 1.1 Kapal Budidaya Laut Pintar (Zhanjiang Bay 1)

Sumber: <https://www.facebook.com/share/v/1DZsHFDaGc/>

Gambar 1.1 menunjukkan konsep kapal budidaya laut pintar *Zhanjiang Bay 1* yang berfungsi sebagai laboratorium terapung dengan memanfaatkan berbagai sensor dan sistem otomatis untuk memantau kondisi lingkungan perairan secara *real-time*. Kapal tersebut dirancang untuk menjaga kualitas lingkungan budidaya dengan memantau parameter penting seperti suhu, kadar oksigen terlarut, kebersihan air, dan kondisi perairan lainnya. Sistem yang diterapkan memungkinkan kapal berpindah menuju lokasi perairan yang memiliki kondisi lingkungan lebih baik sehingga dapat mengurangi stres pada organisme laut dan menjaga kualitas hasil budidaya (Haizol, 2024). Konsep tersebut menunjukkan bahwa teknologi sensor dan sistem monitoring merupakan komponen penting dalam pengembangan teknologi *maritim modern*.

Prinsip pemantauan lingkungan yang diterapkan pada kapal pintar tersebut memiliki kesamaan dengan konsep operasi *USV*. Pada *USV*, berbagai sensor digunakan untuk memperoleh informasi kondisi lingkungan dan kondisi operasional wahana secara otomatis. Data yang diperoleh kemudian diproses dan dikirimkan kepada operator untuk mendukung pengambilan keputusan secara cepat dan tepat. Oleh karena itu, penerapan sistem monitoring berbasis sensor pada *USV* menjadi salah satu kebutuhan penting dalam mendukung operasional wahana yang aman dan efisien.

Selain pemantauan kualitas air laut, keberhasilan operasi *Unmanned Surface Vehicle (USV)* juga dipengaruhi oleh kondisi teknis wahana selama beroperasi di perairan. Salah satu faktor yang perlu diperhatikan adalah stabilitas dan keseimbangan *USV* agar proses navigasi serta pengambilan data dapat berlangsung secara optimal. Dalam menjaga stabilitas tersebut, sistem *ballast* memiliki peran yang sangat penting (Singh, 2023). Oleh karena itu, kondisi *ballast water level* pada wahana laut merupakan parameter penting yang berpengaruh langsung terhadap stabilitas, keseimbangan, dan keselamatan operasi *Unmanned Surface Vehicle (USV)*. *Ballast water level* menunjukkan ketinggian atau volume air yang berada di dalam tangki *ballast* yang berfungsi sebagai pengatur trim dan keseimbangan kapal. Perubahan ketinggian air ballast akibat kebocoran, perpindahan beban, maupun distribusi air yang tidak merata dapat menggeser pusat gravitasi kapal sehingga memengaruhi stabilitas dan performa *manuver USV*.

Pada wahana tanpa awak, operator tidak dapat memantau kondisi *ballast* secara langsung selama *USV* beroperasi di perairan. Akibatnya, perubahan

volume air *ballast* yang terjadi di dalam tangki sering kali tidak diketahui secara cepat, padahal kondisi tersebut dapat memengaruhi keseimbangan dan keamanan operasi kapal. Tujuan pemantauan *ballast water level* dalam penelitian ini bukan untuk menambah fungsi *ballast*, melainkan untuk mengetahui kondisi *ballast* secara *real-time* sehingga operator dapat memperoleh informasi mengenai volume air *ballast* yang berada di dalam tangki selama *USV* beroperasi.jauh.

Melalui sistem monitoring yang dikembangkan, perubahan volume air *ballast* dapat terdeteksi lebih awal, baik akibat kebocoran, pengurangan volume air, maupun penambahan volume yang berpotensi mengganggu keseimbangan kapal. Informasi tersebut dikirimkan melalui sistem *Internet of Things (IoT)* sehingga dapat dipantau secara langsung oleh operator dari jarak jauh (Rahman A. , 2023). Dengan adanya monitoring *ballast water level* secara *real-time*, kondisi stabilitas *USV* dapat terus diawasi selama proses pengambilan data di perairan, sehingga risiko ketidakstabilan, kemiringan kapal, maupun gangguan operasional dapat diminimalkan

Pada pengoperasian *USV*, pengisian maupun pengurangan air ballast umumnya dilakukan sebelum wahana dioperasikan atau ketika operator menyesuaikan kondisi operasi sesuai karakteristik perairan yang akan dilalui. Pada kondisi perairan yang relatif tenang (Haizol, 2024), kebutuhan air ballast umumnya lebih sedikit karena stabilitas wahana masih dapat dipertahankan tanpa penambahan beban yang besar. Sebaliknya, ketika *USV* dioperasikan pada perairan yang memiliki gelombang lebih tinggi atau mengalami perubahan distribusi beban, operator dapat menambah volume air ballast secara manual

untuk membantu menjaga keseimbangan dan stabilitas wahana. Pada penelitian ini (Priadi A. , 2025), proses pengisian maupun pengosongan air ballast tidak dilakukan secara otomatis, melainkan tetap dilakukan oleh operator. Sistem yang dikembangkan hanya berfungsi untuk memonitor ketinggian air ballast secara real-time melalui sensor HC-SR04 dan mengirimkan informasi tersebut ke platform Internet of Things (IoT), sehingga operator dapat mengetahui kondisi ballast selama USV beroperasi dan mengambil keputusan apabila diperlukan penyesuaian volume air ballast.

Pemanfaatan Penerapan teknologi *Internet of Things (IoT)* menjadi solusi yang tepat untuk menjawab kebutuhan tersebut (Pratama, 2023). *IoT* memungkinkan berbagai sensor dan perangkat elektronik saling terhubung melalui jaringan *internet*, sehingga data dapat dikumpulkan, dikirim, dan dipantau secara *real-time* dari mana saja. Dalam sistem ini, sensor pH air laut berfungsi untuk mendeteksi tingkat keasaman air, sedangkan sensor *ballast* (seperti sensor level air, tekanan, atau berat) digunakan untuk memantau kondisi air *ballast* pada *USV*. Data dari sensor-sensor tersebut kemudian diproses oleh mikrokontroler (ESP32) yang berperan sebagai pusat kendali sistem.

Cara kerja sistem monitoring ini dimulai ketika sensor pH dan sensor *ballast* membaca kondisi aktual di lingkungan *USV* (widodo, 2025). Nilai pH air laut diukur secara kontinu, sementara kondisi *ballast* dipantau berdasarkan volume atau ketinggian air dalam tangki *ballast*. Data hasil pembacaan sensor kemudian diolah oleh mikrokontroler untuk dikonversi menjadi informasi digital yang mudah dipahami. Selanjutnya, data tersebut dikirimkan melalui modul komunikasi *IoT (Wi-Fi)* menuju *platform cloud* atau *server IoT*.

Dengan Berdasarkan uraian tersebut, maka diperlukan suatu penelitian yang berfokus pada rancang bangun sistem *monitoring* pH air laut dan *ballast water level* pada *unmanned surface vehicle*(*USV*) berbasis *IoT*. Penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan sistem yang terintegrasi, efisien, dan andal dalam mendukung operasi *USV* (Priadi A. , 2023), khususnya dalam aspek pemantauan kualitas perairan dan stabilitas wahana. serta memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan teknologi maritim modern dan pemantauan lingkungan laut secara berkelanjutan.

B. Rumusan masalah

Berdasarkan Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, diperlukan suatu sistem yang mampu melakukan pemantauan kondisi pH air laut dan *ballast water level* pada *Unmanned Surface Vehicle (USV)* secara *real-time*. Oleh karena itu, rumusan masalah dalam penelitian ini disusun sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem *monitoring* pH air laut dan *ballast* pada *USV* berbasis *IoT*?
2. Bagaimana tingkat akurasi sensor pH air laut dan sensor *ballast water level* yang digunakan pada sistem?
3. Bagaimana pengiriman dan visualisasi data secara *real-time* melalui *platform IoT*?

C. Batasan masalah

Agar penelitian lebih terarah dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, maka ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada beberapa aspek berikut:

1. Pembatasan parameter kualitas air hanya pada pH
2. Sistem dirancang khusus untuk monitoring pH air laut dan kondisi *ballast water level* pada *USV*.
3. Sistem *ballast* yang dimonitor meliputi *level* atau volume air *ballast*, tanpa membahas sistem kendali *ballast water level* secara otomatis.
4. pengujian sistem pada skala prototipe atau simulasi *USV*.
5. Sistem menggunakan mikrokontroler berbasis *IoT* sebagai pusat pengolahan data.

D. Tujuan penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sistem monitoring yang mampu mendukung pemantauan kondisi lingkungan dan stabilitas *USV* secara *real-time*. Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk merancang dan membangun sistem monitoring pH air laut dan *ballast* pada *Unmanned Surface Vehicle (USV)* berbasis *Internet of Things (IoT)*.
2. Untuk mengetahui dan menganalisis tingkat akurasi sensor pH air laut serta sensor *ballast level water* yang digunakan pada sistem monitoring.
3. Untuk mengetahui sistem pengiriman serta visualisasi data sensor secara *real-time* melalui *platform IoT* sehingga kondisi pH air laut dan *ballast water level* dapat dipantau secara efektif oleh pengguna.

E. Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara akademis maupun praktis dalam pengembangan sistem monitoring berbasis *Internet of Things (IoT)* pada bidang kemaritiman, khususnya untuk mendukung operasional *Unmanned Surface Vehicle (USV)*.

1. Manfaat akademis

- a. Menjadi referensi dan bahan pembelajaran dalam pengembangan sistem monitoring berbasis *IoT* di bidang kemaritiman.
- b. Menambah wawasan mengenai penerapan *USV* dan teknologi sensor dalam penelitian teknik kelautan.
- c. Mengembangkan pemahaman mengenai integrasi sensor pH, sistem ballast, dan mikrokontroler dalam satu sistem terpadu.

2. Manfaat praktis

- a. Membantu pemantauan kualitas air laut secara *real-time*.
- b. Mendukung stabilitas dan keselamatan operasional *USV*.
- c. Mengurangi ketergantungan terhadap pengukuran manual.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Review Penelitian Sebelumnya

Bagian ini memaparkan hasil penelitian terdahulu yang dapat dijadikan acuan untuk topik penelitian ini. Penelitian sebelumnya dipilih berdasarkan sifat penelitian ini, sehingga kejelasan dan referensi diharapkan dapat diberikan kepada penulis selama penelitian ini. Di bawah ini Anda akan menemukan deskripsi studi yang dipilih sejauh ini.

Tabel 2. 1 Review Penelitian Sebelumnya
Sumber : Diolah Peneliti

No	Penulis	Judul	Metode	Hasil dan Akurasi	Perbedaan dengan Penelitian Ini
1.	R.A. Putra & D. Nugroho (2022)	Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Air Berbasis <i>IoT</i> Menggunakan Sensor pH dan Suhu	Metode eksperimen dengan pengujian sensor pH dan suhu menggunakan ESP32 serta <i>platform Blynk</i>	Sistem mampu memonitor pH dan suhu secara <i>real-time</i> melalui <i>smartphone</i> . Akurasi sensor pH mencapai $\pm 97\%$ dengan error sekitar 3%.	Penelitian ini hanya memonitor pH dan suhu air, sedangkan penelitian yang dilakukan penulis memonitor pH air laut dan <i>ballast level water</i> pada USV menggunakan <i>Node-RED</i> .
2.	A. Setiawan & M.S. Ramadhan (2023)	Implementasi Sensor pH pada Kapal Permukaan Tanpa Awak (<i>USV</i>) untuk Pemantauan Lingkungan Laut	Metode eksperimen dengan integrasi sensor pH, GPS, dan sistem navigasi <i>USV</i>	USV mampu melakukan pemantauan kualitas air laut di beberapa titik secara otomatis. Nilai akurasi sensor pH dilaporkan sekitar 95–98%.	Penelitian terdahulu hanya fokus pada pemantauan pH dan posisi kapal, sedangkan penelitian ini menambahkan monitoring <i>ballast level water</i> berbasis <i>IoT</i> dan <i>dashboard Node-RED</i> .
3.	L. Pratama & D. Sari (2021)	Monitoring Parameter Air Menggunakan <i>IoT</i> dengan <i>NodeMCU</i>	Metode eksperimen menggunakan <i>NodeMCU</i> , sensor pH, dan <i>platform ThingSpeak</i>	Sistem mampu membaca pH air dengan error rata-rata 3% dibanding alat ukur laboratorium.	Penelitian ini menggunakan <i>NodeMCU</i> dan <i>ThingSpeak</i> , sedangkan penelitian penulis menggunakan

No	Penulis	Judul	Metode	Hasil dan Akurasi	Perbedaan dengan Penelitian Ini
		dan Sensor pH		Data ditampilkan secara <i>online</i> melalui <i>internet</i> .	ESP32, <i>Node-RED</i> , serta diterapkan pada <i>prototype USV</i> .
4.	Anggi Mardiyono, Andi Ariawan Suhandana, & Muhammad Yusuf Bagus Rasyiidin (2025)	Sistem Peringatan Kualitas Air dengan Teknologi <i>IoT</i> Berbasis <i>Cloud</i> pada Akuarium	Metode eksperimen menggunakan sensor pH, sensor suhu, ESP32, dan <i>platform cloud IoT</i> .	Sistem mampu memantau kualitas air secara <i>real-time</i> dan mengirimkan notifikasi ketika nilai pH berada di luar batas yang ditentukan. Monitoring dapat diakses melalui <i>internet</i> dengan waktu respon yang baik.	Penelitian terdahulu diterapkan pada media akuarium dan hanya memonitor kualitas air. Sedangkan penelitian ini diterapkan pada <i>prototype USV</i> serta memonitor pH air laut dan <i>ballast water level</i> menggunakan <i>Node-RED</i> .
5.	Alsaadi, E., & Tubaishat, A. (2024)	<i>Recent Advances in Internet of Things Applications</i>	Studi literatur mengenai perkembangan teknologi <i>Internet of Things</i> pada berbagai bidang aplikasi.	Penelitian menunjukkan bahwa teknologi <i>IoT</i> mampu meningkatkan efisiensi monitoring secara <i>real-time</i> , mendukung komunikasi data melalui jaringan <i>internet</i> , serta mempermudah visualisasi data pada <i>platform cloud</i> .	Penelitian tersebut membahas <i>IoT</i> secara umum tanpa implementasi pada sistem monitoring <i>USV</i> . Penelitian ini mengimplementasikan teknologi <i>IoT</i> menggunakan ESP32, sensor pH, sensor HC-SR04, dan dashboard <i>Node-RED</i> untuk memonitor kondisi pH air laut dan <i>ballast water level</i> pada <i>USV</i> .

Berdasarkan hasil telaah terhadap lima penelitian sebelumnya, dapat diketahui bahwa sebagian besar penelitian telah menerapkan teknologi *Internet of Things (IoT)* untuk memantau kualitas air maupun parameter lingkungan secara *real-time*. Namun, penelitian-penelitian tersebut masih berfokus pada pemantauan satu parameter tertentu, seperti pH air, suhu, atau posisi wahana,

dan belum mengintegrasikan pemantauan pH air laut serta *ballast water level* dalam satu sistem pada *Unmanned Surface Vehicle (USV)*. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa integrasi kedua parameter tersebut menggunakan mikrokontroler ESP32 dan *dashboard Node-RED*, sehingga kondisi lingkungan perairan dan stabilitas USV dapat dipantau secara bersamaan secara *real-time*.

B. Landasan teori

Dalam penelitian ini penulis menggunakan landasan teori yang akan digunakan sebagai dasar dari penelitian ini. Landasan teori ini berfungsi sebagai penjelasan tentang variabel atau suatu permasalahan yang akan diangkat dan dibahas oleh penulis dalam penelitian ini. Bagian ini membantu penulis untuk menghubungkan penelitian dengan pengetahuan yang sudah ada dan memberikan kerangka kerja untuk menginterpretasikan hasil penelitian. Dengan merujuk pada teori, konsep, dan penelitian sebelumnya yang relevan, penulis dapat menempatkan pekerjaan dalam konteks yang lebih luas dan menunjukkan kontribusi terhadap pengetahuan yang ada. Beberapa landasan teori yang menunjang tugas akhir ini adalah *Internet of Things (IoT)*, *Unmanned Surface Vehicle (USV)*, *Sistem Ballast*, *Mikrokontroler ESP32*, *Analog Sensor pH DFRobot*, *Sensor Ultrasonik HC-SR04*, *Node-RED*.

1. *Internet Of Things (IoT)*

Internet of Things (IoT) merupakan konsep teknologi yang menghubungkan perangkat fisik ke jaringan internet untuk bertukar data dan informasi secara otomatis. Melalui *IoT*, berbagai sensor dan perangkat dapat

saling terhubung untuk melakukan pemantauan dan pengendalian jarak jauh. (Degadwala, 2023), *IoT* berperan penting dalam sistem monitoring karena memungkinkan pengumpulan data lingkungan secara *real-time*, efisien, dan dapat diakses kapan saja melalui *platform cloud Blynk*.

2. *Unmanned Surface Vehicle (USV)*

Unmanned Surface Vehicle (USV) merupakan wahana kapal permukaan yang beroperasi tanpa awak manusia di atas kapal dan dikendalikan secara otomatis maupun jarak jauh. *USV* dirancang untuk melaksanakan berbagai misi seperti survei perairan, pemantauan lingkungan laut, penelitian oseanografi, serta pengawasan wilayah perairan (Zohedi, 2025). Keunggulan *USV* terletak pada kemampuannya untuk beroperasi dalam jangka waktu lama, menjangkau area berisiko tinggi, dan mengurangi keterlibatan langsung manusia sehingga meningkatkan keselamatan dan efisiensi operasional.



Gambar 2. 1 *Unmanned Surface Vehicle (USV)*

Sumber: <https://www.bing.com/images/search?q=2.+UNMANNED+SURFACE+VEHICLE&form=HDRSC3&first=1>

USV bekerja dengan memanfaatkan sistem kendali, sensor, dan komunikasi. Sensor dipasang pada badan *USV* untuk membaca kondisi

lingkungan, data diproses oleh sistem kendali, kemudian dikirimkan ke operator melalui jaringan komunikasi. Dalam pengoperasiannya, *USV* membutuhkan sistem pemantauan yang andal untuk memastikan kinerja kapal tetap optimal. Parameter lingkungan dan kondisi internal kapal perlu dimonitor secara *real-time* agar *USV* dapat beroperasi secara stabil dan aman

3. Sistem *Ballast*

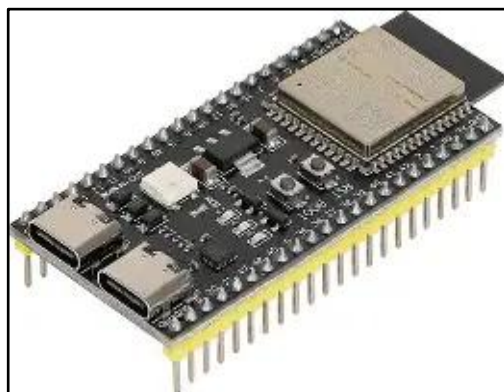
Sistem *ballast* merupakan sistem yang digunakan untuk menjaga keseimbangan, stabilitas, dan posisi kapal saat berada di atas permukaan air. *Ballast* bekerja dengan cara menambahkan atau mengurangi volume air di dalam tangki ballast sehingga kapal dapat mempertahankan posisi yang stabil ketika beroperasi (Rahman M. , 2023). Pada kapal maupun *Unmanned Surface Vehicle* (*USV*), ballast memiliki peranan penting dalam menjaga kestabilan kapal terhadap pengaruh gelombang, beban, dan perubahan kondisi perairan. Sistem *ballast* juga membantu kapal agar tidak mudah miring serta menjaga distribusi berat tetap seimbang selama proses pengoperasian.

Pada penelitian ini, sistem *ballast* yang digunakan tidak menerapkan sistem otomatis, melainkan menggunakan sistem monitoring untuk mengetahui kondisi atau ketinggian air *ballast* pada *prototype USV*. *Monitoring ballast* dilakukan menggunakan sensor ultrasonik yang berfungsi membaca tinggi permukaan air pada tangki *ballast*. Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirimkan melalui sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) sehingga pengguna dapat memantau kondisi *ballast* secara

real-time melalui *smartphone* atau laptop. Dengan adanya *monitoring ballast* ini, pengguna dapat mengetahui kondisi kestabilan *USV* tanpa harus melakukan pemeriksaan secara langsung pada tangki *ballast*.

4. Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah *mikrokontroler* buatan Espressif Systems yang dirancang untuk aplikasi *Internet of Things (IoT)*. ESP32 memiliki modul komunikasi *WiFi* dan *Bluetooth* terintegrasi, kemampuan pemrosesan yang memadai, serta pin *input/output* yang mendukung koneksi berbagai perangkat eksternal. Pada sistem monitoring pH air laut dan *ballast level water* pada *USV* berbasis *IoT*. (Degadwala, 2023). ESP32 berperan sebagai pengendali utama yang melakukan akuisisi data sensor, pengolahan data, dan pengiriman informasi *monitoring* secara *real-time*. ESP32 melakukan proses akuisisi dan pengolahan data dari sensor pH air laut dan sensor *ballast level water* berdasarkan algoritma yang telah dirancang. Selanjutnya, data hasil pengolahan dikirimkan ke *server* pemantauan melalui jaringan *internet*. ESP32 juga digunakan untuk mengontrol aktuator seperti pompa *ballast* atau *relay* sesuai dengan kondisi sistem.



Gambar 2. 2 esp32

Sumber: <https://www.bing.com/images/search?q=ESP32&form=HDRSC3&first=1>

Cara kerja ESP32 dimulai saat sistem diaktifkan, kemudian mikrokontroler melakukan inisialisasi perangkat dan koneksi jaringan. Selanjutnya, ESP32 membaca data pH air laut dan kondisi *ballast level water* melalui sensor yang terhubung. Data tersebut diolah dan dibandingkan dengan nilai ambang batas yang telah ditentukan. Hasil pengolahan data selanjutnya dikirimkan secara nirkabel melalui jaringan *IoT* untuk ditampilkan pada sistem monitoring. Apabila kondisi pH atau ballast berada di luar batas normal, ESP32 dapat memberikan informasi peringatan atau mengaktifkan sistem pengendalian *ballast level water*.

5. *Analog Sensor pH (DFROBOT)*

Analog Sensor pH DFRobot merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan air laut dengan rentang pH 0–14. Sensor ini terdiri dari probe pH dan modul pengkondisi sinyal dengan keluaran berupa sinyal *analog*, sehingga mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler (Novan Ardiansyah, 2025). Pada penelitian rancang bangun sistem *monitoring* pH air laut dan ballast pada *USV* berbasis *IoT*, sensor pH *DFRobot* digunakan sebagai perangkat *input* untuk memperoleh data pH air laut secara *real-time*.



Gambar 2. 3 pH DFRobot

Sumber: <https://www.bing.com/images/search?q=3.%09SENSOR+pH&form=HDRSC3&first=1>

Cara kerja *sensor pH DFRobot* dimulai ketika probe pH dicelupkan ke dalam air laut dan menghasilkan perbedaan potensial listrik akibat interaksi ion hidrogen dengan elektroda sensor. Tegangan yang dihasilkan kemudian diperkuat oleh modul sensor dan dibaca oleh mikrokontroler ESP32 melalui pin analog. Selanjutnya, data tersebut diolah dan dikirimkan ke sistem *monitoring* berbasis *IoT* untuk ditampilkan dan dianalisis.

6. Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik HC-SR04 merupakan sensor elektronik yang digunakan untuk mengukur jarak suatu objek dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik. Sensor ini bekerja pada frekuensi sekitar 40 kHz dan terdiri dari dua bagian utama, yaitu *transmitter* sebagai pemancar gelombang dan *receiver* sebagai penerima pantulan gelombang ultrasonik (Singh, 2023). Prinsip kerja sensor HC-SR04 dimulai ketika *transmitter* memancarkan gelombang ultrasonik ke arah objek, kemudian gelombang tersebut dipantulkan kembali dan diterima oleh *receiver*.. Sensor ini banyak digunakan pada sistem otomasi, robotika, *Internet of Things (IoT)*, serta sistem monitoring karena memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dan harga yang relatif terjangkau.



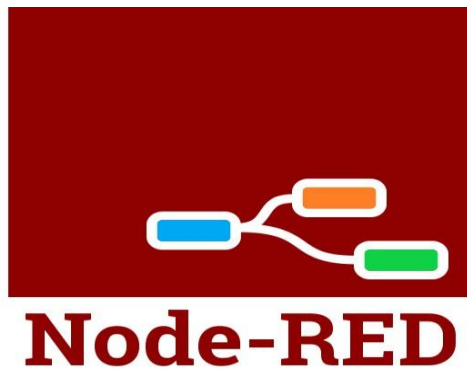
Gambar 2. 4 HC-SR04

Sumber: <https://sl.bing.net/gSjF4C9xXU>

Fungsi utama sensor HC-SR04 adalah mendeteksi dan mengukur jarak objek secara non-kontak. Pada penelitian sistem *monitoring ballast level water* dan pH air laut berbasis *IoT* pada *Unmanned Surface Vehicle (USV)*, sensor ini dapat digunakan untuk mendeteksi tinggi permukaan air atau kapasitas *ballast level water* secara *real-time*. Data hasil pembacaan sensor kemudian diproses oleh mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32 dan dikirimkan ke perangkat monitoring seperti *smartphone* atau laptop melalui jaringan internet. Keunggulan sensor HC-SR04 meliputi kemampuan pengukuran dengan jarak sekitar 2 cm hingga 400 cm, konsumsi daya rendah, serta proses integrasi yang mudah dengan berbagai mikrokontroler sehingga sangat sesuai digunakan dalam sistem monitoring otomatis berbasis *IoT*.

7. Node-RED

Node-RED merupakan *platform* pemrograman berbasis *flow* yang dikembangkan oleh IBM untuk memudahkan proses integrasi perangkat keras, aplikasi, dan layanan berbasis *Internet of Things (IoT)*. *Node-RED* menyediakan antarmuka visual berbasis *web* yang memungkinkan pengguna membangun sistem dengan cara menghubungkan berbagai *node* tanpa harus menulis kode program yang kompleks (Node-Red, 2025). Setiap *node* memiliki fungsi tertentu, seperti menerima data, mengolah data, menyimpan data, maupun menampilkan data dalam bentuk *dashboard monitoring*. Kemudahan penggunaan tersebut menjadikan *Node-RED* banyak digunakan dalam pengembangan sistem monitoring dan kontrol berbasis *IoT*.



Gambar 2. 5 Nod Red

Sumber: <https://share.google/k39RAestq3yeEUu2m>

Pada penelitian ini, *Node-RED* digunakan sebagai *platform monitoring* untuk menampilkan data hasil pembacaan sensor pH *Analog DFRobot* dan sensor ultrasonik HC-SR04 yang terpasang pada *prototype USV*. Data yang dikirim oleh ESP32 melalui jaringan internet akan diterima dan diproses oleh *Node-RED*, kemudian ditampilkan dalam bentuk *dashboard* secara *real-time*. Melalui *dashboard* tersebut, pengguna dapat memantau nilai pH air laut, ketinggian air *ballast*, posisi GPS, serta parameter lainnya menggunakan laptop maupun *smartphone*. Dengan demikian, *Node-RED* berperan sebagai antarmuka (*user interface*) yang mempermudah proses pemantauan kondisi *USV* secara jarak jauh.

BAB III

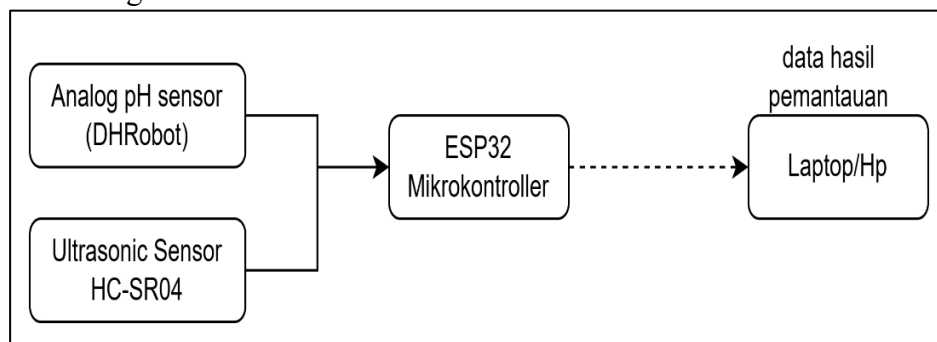
METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Metodologi penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen. Metode eksperimen merupakan metode penelitian yang dilakukan dengan cara merancang, membuat, serta menguji suatu sistem atau alat untuk mengetahui kinerja dan fungsi dari alat tersebut (Sugiyono, 2022). Pada penelitian ini, metode eksperimen digunakan untuk merancang dan menguji sistem monitoring pH air laut dan *ballast* pada *Unmanned Surface Vehicle* (USV) berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem yang dibuat terdiri dari beberapa komponen utama seperti sensor pH air laut, sensor *ballast level water*, mikrokontroler ESP32, modul komunikasi IoT, serta media *monitoring* berupa smartphone atau laptop. Metode ini dipilih karena penelitian berfokus pada proses pengujian alat secara langsung untuk mengetahui kemampuan sistem dalam melakukan *monitoring* secara *real-time*.

B. Perancangan System

1. Perancangan *Hardware*



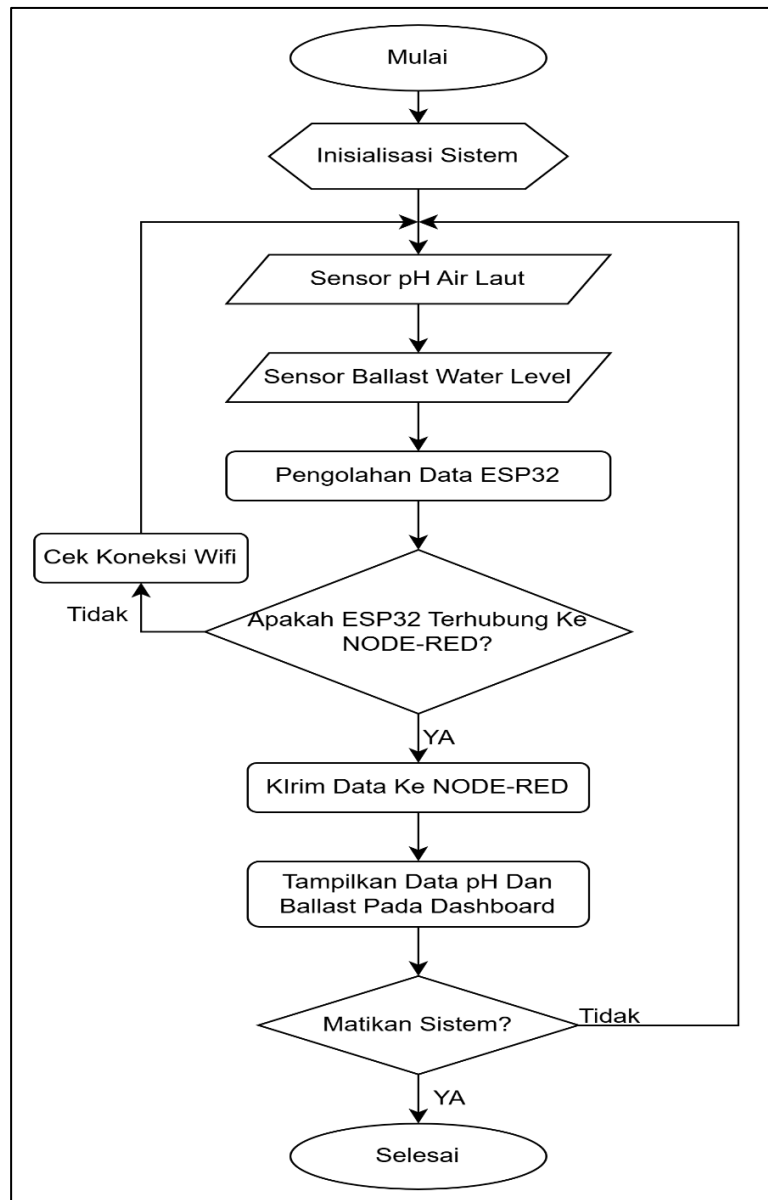
Gambar 3. 1 Blok Diagram
Sumber: Dokumen Pribadi

Pada gambar 3.1 Perancangan perangkat keras pada sistem monitoring ini dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu bagian *input*, proses, dan *output*. Pada bagian *input* digunakan dua sensor utama, yaitu *Analog pH Sensor DFRobot* untuk mengukur tingkat keasaman air serta sensor ultrasonik HC-SR04 yang digunakan untuk mendeteksi jarak atau ketinggian permukaan air *ballast level water* (M, 2023). Kedua sensor tersebut bekerja secara kontinu untuk membaca kondisi lingkungan dan mengirimkan data hasil pengukuran ke unit pemrosesan.

Pada Bagian pemrosesan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat kendali sistem. ESP32 dipilih karena memiliki kemampuan pengolahan data yang cepat serta telah dilengkapi modul *Wi-Fi internal* sehingga mendukung komunikasi berbasis *Internet of Things (IoT)*. Mikrokontroler ini menerima data analog maupun digital dari sensor, kemudian mengolah dan mengubahnya menjadi informasi yang lebih mudah dipahami. Selain itu, ESP32 juga berperan dalam mengirimkan data hasil monitoring melalui jaringan *internet* secara nirkabel.

Pada bagian *output*, data hasil pemantauan ditampilkan pada perangkat laptop maupun *smartphone* sehingga pengguna dapat memonitor kondisi pH air dan *ballast level water* secara *real-time*. Informasi yang ditampilkan berupa data digital yang mudah dibaca dan dipahami. Integrasi antara sensor, ESP32, dan perangkat *monitoring* tersebut menghasilkan sistem monitoring kualitas air pada *Unmanned Surface Vehicle (USV)* berbasis *IoT* yang mampu bekerja secara efektif, efisien, dan akurat.

2. Perancangan *Software*



Gambar 3. 2 General Flowchart

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Gambar 3.2 *Flowchart* sistem diawali dengan proses inisialisasi, yaitu mengaktifkan seluruh perangkat yang digunakan pada *prototype Unmanned Surface Vehicle (USV)*, meliputi mikrokontroler ESP32, sensor pH *Analog DFRobot*, sensor ultrasonik HC-SR04, serta koneksi *Wi-Fi* yang digunakan untuk komunikasi data. Setelah seluruh komponen berhasil diinisialisasi, sistem mulai melakukan pembacaan data secara *real-time* melalui sensor

pH untuk mengukur tingkat keasaman air dan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur ketinggian air pada tangki *ballast*.

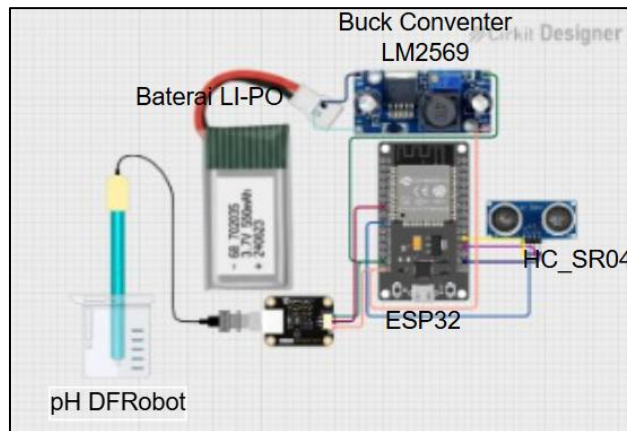
Data Data hasil pembacaan sensor kemudian diproses oleh ESP32 sebagai pusat kendali sistem (Degadwala, 2023). Setelah proses pengolahan selesai, ESP32 melakukan pemeriksaan konektivitas untuk memastikan perangkat telah terhubung dengan *platform IoT* berbasis *Node-RED*. Apabila koneksi berhasil, data sensor dikirim melalui jaringan Wi-Fi menuju *server Node-RED* untuk ditampilkan pada *dashboard monitoring*. Namun apabila koneksi belum tersedia, sistem akan melakukan pengecekan ulang hingga koneksi kembali normal

Data yang berhasil diterima oleh *Node-RED* ditampilkan secara *real-time* pada perangkat pengguna seperti laptop maupun *smartphone*. Informasi yang ditampilkan meliputi nilai pH air dan ketinggian air ballast sehingga kondisi *prototype USV* dapat dipantau secara langsung. Proses monitoring berlangsung secara terus-menerus selama sistem masih aktif. Ketika pengguna mematikan sistem, proses pembacaan sensor, pengiriman data, dan monitoring dihentikan sehingga seluruh perangkat kembali ke kondisi tidak aktif dan proses berakhir.

C. Perancangan Alat

Perancangan alat pada penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem yang mampu melakukan *monitoring* pH air laut serta mengendalikan sistem ballast secara otomatis pada *Unmanned Surface Vehicle (USV)* berbasis *Internet of Things (IoT)*. Perancangan alat dilakukan dengan mengintegrasikan

perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) agar sistem dapat bekerja secara optimal, stabil, dan *real-time*.



Gambar 3. 3 Wiring Diagram

Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 3.3 menunjukkan wiring diagram sistem monitoring pH air laut dan *ballast level water* pada *prototype Unmanned Surface Vehicle (USV)* berbasis *Internet of Things (IoT)* (Alsaadi, 2024). Sistem terdiri dari sensor pH *Analog DFRobot* sebagai sensor pengukur tingkat keasaman air, sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai sensor pengukur ketinggian air *ballast*, mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali sistem (Degadwala, 2023), modul *buck converter* sebagai penurun tegangan, serta baterai *Li-Po* sebagai sumber daya utama.

Sensor pH *Analog DFRobot* terhubung ke pin analog ESP32 untuk mengirimkan data hasil pengukuran pH air. Sensor HC-SR04 terhubung ke pin digital ESP32 melalui pin *Trigger* dan *Echo* untuk mengukur jarak permukaan air terhadap sensor (Pratama, 2023). Seluruh data yang diperoleh sensor diproses oleh ESP32 dan selanjutnya dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi menuju *platform Node-RED* sehingga dapat dipantau secara *real-time* melalui laptop maupun *smartphone*.

Tabel 3. 1 Tabel Koneksi Alat
Sumber : Diolah Peneliti

No	Komponen	Pin Komponen	Pin ESP32	Keterangan
1	Sensor pH DFRobot	VCC	3.3V	Catu daya sensor
		GND	GND	Ground
		PO (Analog Output)	GPIO 34 (ADC)	Pembacaan nilai pH
2	Sensor HC- SR04	VCC	5V	Catu daya sensor
		GND	GND	Ground
		TRIG	GPIO 5	Mengirim gelombang ultrasonik
		ECHO	GPIO 18	Menerima pantulan gelombang
3	ESP32	VIN	Output Buck Converter	Sumber tegangan ESP32
		GND	Ground Sistem	Ground bersama
4	Buck Converter LM2596	Input (+)	Baterai Li-Po (+)	Masukan tegangan
		Input (-)	Baterai Li-Po (-)	Ground
		Output (+)	VIN ESP32	Tegangan keluaran
		Output (-)	GND ESP32	Ground keluaran
5	Baterai Li-Po	Positif (+)	Input Buck Converter	Sumber daya utama
		Negatif (-)	Ground Sistem	Ground utama

Tabel 3.1 menunjukkan hubungan koneksi antar komponen yang digunakan pada sistem monitoring pH air laut dan ballast level water berbasis IoT. Sensor pH Analog DFRobot terhubung ke pin ADC ESP32 untuk membaca nilai tegangan yang kemudian dikonversi menjadi nilai pH. Sensor ultrasonik HC-SR04 dihubungkan ke pin digital ESP32 melalui pin TRIG dan ECHO untuk mengukur ketinggian air pada tangki *ballast* (Singh, 2023). Seluruh sistem memperoleh sumber daya dari baterai Li-Po yang tegangannya diturunkan menggunakan modul buck converter sebelum disalurkan ke ESP32 dan sensor. Data hasil pembacaan sensor kemudian diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke platform *Node-RED* melalui jaringan Wi-Fi untuk ditampilkan secara real-time pada dashboard monitoring.

D. Rencana Pengujian

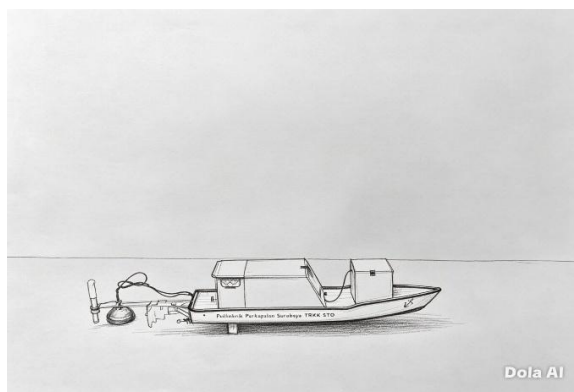
Rencana pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan dan performa sistem monitoring pH air laut dan *ballast level water* pada *Unmanned Surface Vehicle* (USV) berbasis *Internet of Things* (IoT). Pengujian dilakukan terhadap seluruh komponen sistem seperti sensor pH *Analog DFRobot*, sensor ultrasonik HC-SR04, ESP32, serta sistem *monitoring IoT* agar dapat diketahui apakah sistem mampu bekerja sesuai dengan tujuan perancangan.

1. Pengujian Statis

Pengujian statis dilakukan pada saat prototype *Unmanned Surface Vehicle* (USV) berada dalam kondisi diam tanpa adanya gerakan di permukaan air. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sensor dan sistem monitoring dalam membaca data secara stabil tanpa dipengaruhi oleh gelombang maupun pergerakan air. Pada proses pengujian, sensor pH *Analog DFRobot* diuji menggunakan larutan *buffer* pH 4 dan pH 7 untuk mengetahui tingkat akurasi pembacaan sensor terhadap nilai pH standar, sedangkan sensor ultrasonik HC-SR04 diuji menggunakan beberapa variasi jarak untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi ketinggian air *ballast level water* pada *prototype USV*. Selain itu, sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) juga diuji untuk mengetahui kemampuan ESP32 dalam menerima, mengolah, dan mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke perangkat monitoring seperti *smartphone* atau laptop secara *real-time*. Seluruh hasil pengujian statis kemudian dicatat dan dianalisis guna mengetahui tingkat kestabilan, akurasi, dan performa sistem monitoring yang telah dirancang.

2. Pengujian Dinamis

Pengujian dinamis dilakukan pada saat *prototype Unmanned Surface Vehicle* (USV) bergerak dan beroperasi secara langsung di atas permukaan air. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui performa sistem monitoring dalam kondisi nyata sekaligus melihat pengaruh gerakan *USV* terhadap hasil pembacaan sensor dan sistem komunikasi berbasis *Internet of Things (IoT)*. Pada proses pengujian, sensor pH *Analog DFRobot* digunakan untuk membaca nilai pH air secara langsung ketika *USV* bergerak, sedangkan sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk memonitor ketinggian air *ballast level water* pada *prototype USV*. Selain itu, ESP32 diuji untuk mengetahui kemampuannya dalam menerima, mengolah, dan mengirimkan data hasil pembacaan sensor.



Gambar 3. 4 Visualisasi USV beserta sensor
Sumber : Dokumentasi Penelitian