

Development of an IoT-Based Electric Safety Buoy with Autonomous Navigation System for Coastal Water Rescue Operations

Elik Hari Muktafin^{1*}, M. Iqbal Abdullah Sukri^{2*}, Ma'ruf Aziz Muzani^{3*}, Mulia Sulistiyono^{4*}, Kusri^{5*}, Bayu Setiaji^{6*}

* Rekayasa Perangkat Lunak, Politeknik Prestasi Prima, Jakarta, Indonesia

** Dept. of Informatics, Universitas Amikom Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

elikharimuktafin@gmail.com¹, m.iqbalabs@gmail.com², azizmuzani@gmail.com³, muliasulistiyono@amikom.ac.id⁴, kusri@amikom.ac.id⁵, bayusetiaji@amikom.ac.id⁶

Article Info

Article history:

Received 2025-11-02

Revised 2025-11-22

Accepted 2025-12-10

Keyword:

IoT,
Autonomous Navigation,
Electric Safety Buoy,
Waypoint Tracking,
Coastal Rescue.

ABSTRACT

This research aimed to develop and evaluate an IoT-based electric safety buoy equipped with an autonomous navigation system to support Search and Rescue (SAR) operations in coastal environments. The system integrates dual-thruster propulsion, GPS and Inertial Measurement Unit (IMU) sensors, IoT telemetry, and a Return-to-Home (RTH) mechanism, enabling both manual and autonomous operation modes. Prototype testing was conducted in a controlled aquatic environment under light wave conditions (10–25 cm) and mild surface currents (0.18–0.32 m/s), with calm weather and unobstructed line-of-sight communication. The buoy was evaluated in both unloaded and 2 kg payload conditions, traveling at an average speed of 1.25–1.35 m/s across test sessions lasting 12–18 minutes. Three predefined GPS waypoints were used to assess navigation accuracy, motion stability, RTH reliability, and telemetry performance. Results show that the autonomous mode achieved a mean positioning error of 1.12 m, a cross-track deviation of 0.35 m, and a waypoint success rate of 96%, outperforming manual navigation by 52%. The RTH function maintained a success rate of 100% under low-battery conditions and 92% during communication loss, while IoT telemetry remained stable up to 200 meters with less than 1% packet loss. These findings confirm that integrating IoT-based telemetry with adaptive autonomous navigation enhances rescue mission efficiency and operational safety, while indicating the need for further validation under more challenging open-sea conditions.



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

I. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan dengan lebih dari 17.000 pulau menghadapi tantangan serius dalam keselamatan perairan pantai. Menurut data Badan SAR Nasional (BASARNAS) (2024), terdapat lebih dari 1.000 kasus kecelakaan di perairan setiap tahunnya [1]. Banyak diantaranya menyebabkan korban jiwa akibat keterlambatan penyelamatan. Kecelakaan di Pantai umumnya disebabkan karena kurang patuhnya wisatawan terhadap rambu larangan [2], [3], berenang terlalu jauh, terseret rip current atau ombak besar [4]. Upaya penyelamatan korban kecelakaan air harus dilakukan dengan cepat, karena ketahanan fisik korban terbatas dan penundaan tindakan dapat berakibat fatal.

Keterlambatan proses penyelamatan sering kali diakibatkan oleh keterbatasan sarana penyelamatan [5], minimnya personel terlatih [6], serta kondisi cuaca yang tidak mendukung [7].

Sarana penyelamatan yang umum digunakan, seperti pelampung konvensional, bersifat pasif dan hanya efektif pada jarak dekat, sementara kapal SAR tidak tersedia di seluruh wilayah pantai. Penggunaan kapal nelayan juga berisiko tinggi karena dapat tergulung ombak dan justru menambah korban. Oleh karena itu, diperlukan intervensi teknologi yang memungkinkan proses penyelamatan dilakukan lebih cepat, aman, dan efektif. Salah satu solusi potensial adalah pelampung keselamatan elektrik yang berfungsi sebagai perangkat aktif untuk menjangkau korban,

menjaga agar tetap mengapung, dan membantu menarik korban menuju daratan.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan sistem kendali otonom yang banyak digunakan pada *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV) dan *Autonomous Surface Vehicles* (ASV) [8], [9], [10], [11], [12], [13], membuka peluang untuk diadaptasi ke sistem penyelamatan di laut. Integrasi antara IoT dan sistem navigasi otonom memungkinkan perangkat untuk dikendalikan dari jarak jauh sekaligus mampu beroperasi secara mandiri melalui algoritma perencanaan lintasan berbasis *waypoint*.

Pelampung keselamatan konvensional memiliki beberapa keterbatasan mendasar yang mengurangi efektivitasnya dalam operasi SAR. Pertama, pelampung tersebut bersifat pasif dan hanya dapat mencapai korban sejauh jarak lempar operator, yang pada umumnya kurang dari 10–15 meter, sehingga tidak dapat menjangkau korban yang terseret arus lebih jauh dari garis pantai. Kedua, pelampung konvensional tidak memiliki kemampuan navigasi aktif sehingga tidak dapat bergerak mengikuti posisi korban yang dinamis di tengah gelombang.

Ketiga, tidak adanya integrasi IoT membuat petugas SAR tidak dapat memantau lokasi pelampung secara real-time maupun mengontrol pergerakannya dari jarak jauh. Keempat, metode penyelamatan konvensional menempatkan operator dalam risiko tinggi, karena petugas sering harus mendekati bibir ombak atau masuk ke air untuk melempar, menjemput, atau menarik pelampung. Terakhir, pelampung konvensional tidak dilengkapi mekanisme kembali otomatis ke pantai sehingga rentan hilang atau terseret arus. Keterbatasan-keterbatasan ini menegaskan perlunya pengembangan pelampung elektrik berbasis IoT dengan kendali otonom untuk meningkatkan jangkauan penyelamatan, akurasi navigasi, keamanan operator, dan efektivitas operasi SAR secara keseluruhan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji pelampung keselamatan elektrik berbasis IoT dengan sistem navigasi otonom, yang dirancang khusus untuk mendukung operasi *Search and Rescue* (SAR) di lingkungan pesisir. Urgensi penelitian ini terletak pada meningkatnya jumlah korban kecelakaan laut yang menuntut solusi teknologi penyelamatan yang cepat dan efisien.

Pendekatan penelitian dilakukan melalui rekayasa sistem dan eksperimen lapangan dengan empat tahapan utama:

a. Perancangan prototipe pelampung elektrik dengan konfigurasi simetris atas-bawah serta dual-thruster propulsi yang mampu beroperasi dalam posisi terbalik melalui algoritma kontrol proporsional-integral-derivatif (PID)[14].

b. Penerapan IoT dengan integrasi sensor akselerometer, giroskop, *Global Positioning System* (GPS) dan *Inertial Measurement Unit* (IMU) untuk memberikan kestabilan dan komunikasi telemetri nirkabel antara pelampung dan stasiun kendali [15].

c. Penerapan sistem kendali otonom menggunakan algoritma *waypoint* [16] dan *return to home* (RTH) [17]

berbasis koordinat GPS, yang memungkinkan pelampung bergerak menuju lokasi korban secara otomatis dan kembali ke daratan ketika kehilangan sinyal atau daya rendah

d. pengujian fungsional prototipe dalam lingkungan perairan terkendali untuk menilai kemampuan navigasi, kendali, serta efektivitas misi penyelamatan dengan berbagai skenario pengujian.

Berbagai penelitian terkait *buoy* otonom dan robot penyelamatan permukaan telah dikembangkan sebelumnya, seperti *autonomous surface rescue robots* berbasis kendali jarak jauh [18], platform penyelamatan berbasis perencanaan jalur statis [19], serta *autonomous surveillance boat* yang hanya bergerak mengikuti lintasan tetap [20]. Beberapa pendekatan lain menggunakan drone udara untuk menjatuhkan pelampung di dekat korban [21], namun tidak menyediakan mekanisme penjemputan korban secara aktif di permukaan air.

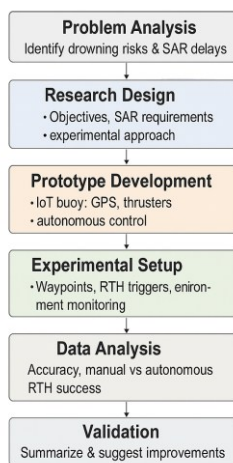
Meskipun sistem-sistem tersebut menunjukkan kemajuan dalam otomasi penyelamatan, sebagian besar masih memiliki keterbatasan, seperti tidak mampu melakukan pelacakan *waypoint* dinamis, tidak terintegrasi dengan telemetri IoT untuk pemantauan real-time, serta tidak dirancang dengan thruster yang tahan terhadap kondisi sedimen laut dangkal. Penelitian ini mengatasi keterbatasan penelitian sebelumnya dengan menggabungkan sistem kendali hibrid (manual-otonom), thruster anti-sedimen, serta navigasi adaptif berbasis real-time *waypoint replanning* yang memungkinkan pelampung beradaptasi dengan perubahan posisi korban di lingkungan perairan dinamis. Penelitian ini menawarkan kebaruan (*novelty*) berupa penggunaan motor thruster anti-sedimen yang lebih tahan terhadap kondisi air laut, serta sistem kendali hibrid (manual dan otonom) dengan menggunakan algoritma *adaptive-replanning* [22] dan *waypoint* yang memungkinkan pelampung beradaptasi terhadap perubahan posisi target di lingkungan perairan dinamis [23].

Ada juga metode penyelamatan dengan drone yang menjatuhkan pelampung ke dekat korban [24]. Kebaruan pelampung keselamatan elektrik IoT memiliki fungsi ganda, sebagai pelampung untuk menjaga korban tidak tenggelam dan sebagai wahana penyelamat aktif yang dapat menjemput dan menarik korban ke darat. Hasil penelitian ini akan diintegrasikan dengan sistem pemetaan geografis berbasis kamera AI, yang dikembangkan dalam penelitian terpisah. Kamera AI dapat mendeteksi koordinat lokasi korban di laut [25], [26], [27] dan mengirimkannya ke pelampung sebagai *waypoint* secara real-time. Sehingga pelampung dapat bekerja dalam situasi dinamis, dimana lokasi korban terus berubah karena pengaruh arus laut. Berbeda dari sistem static-path-planning pada *autonomous surveillance boat* yang bekerja dengan jalur yang telah ditetapkan [22]. Secara keseluruhan, kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan pelampung keselamatan elektrik berbasis IoT dengan sistem navigasi otonom adaptif, yang tidak hanya berfungsi menjaga korban agar tetap mengapung, tetapi juga bertindak sebagai wahana penyelamat aktif yang dapat secara mandiri

menjemput dan membawa korban ke daratan dengan presisi tinggi.

II. METODE

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi pelampung keselamatan listrik berbasis IoT dengan fokus kuat pada kemampuan navigasi otonomnya menuju titik arah yang ditentukan GPS. Seperti terdapat pada gambar 1 Sistem dirancang untuk mengintegrasikan propulsi pendorong ganda, sensor GPS dan IMU, telemetri IoT, dan mekanisme Kembali ke Rumah (RTH), memungkinkan mode operasi manual dan otonom. Sebuah prototipe diuji di lingkungan air terkontrol di mana pelampung harus bergerak secara berurutan menuju tiga titik arah GPS (set point) yang telah ditentukan sebelumnya. Evaluasi menekankan akurasi navigasi, stabilitas gerakan, dan keandalan mencapai titik setel di bawah kendali otonom.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

Diagram alir pada gambar 1 memberikan gambaran ringkas tentang proses penelitian, mulai dari identifikasi masalah dan pengembangan prototipe hingga pengumpulan, analisis, dan evaluasi akhir data, yang menggambarkan pendekatan sistematis yang diambil dalam penelitian ini.

Fase desain penelitian dimulai dengan mengidentifikasi peningkatan risiko tenggelam di daerah pesisir dan keterbatasan sistem SAR yang ada. Berdasarkan analisis masalah, solusi teknologi diusulkan dalam bentuk pelampung keselamatan listrik dengan IoT terintegrasi, propulsi pendorong ganda, penentuan posisi berbasis GPS, dan kemampuan navigasi otonom. Proses pengembangan mencakup perencanaan arsitektur sistem, integrasi perangkat keras, dan implementasi perangkat lunak untuk memungkinkan kontrol manual melalui aplikasi seluler dan pelacakan titik arah otonom melalui algoritma navigasi bawaan.

Sumber data terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui pengujian eksperimental prototipe pelampung, di mana parameter kinerja seperti kecepatan, akurasi pelacakan lintasan, presisi GPS, dan stabilitas di

bawah gangguan gelombang simulasi dicatat. Data sekunder dikumpulkan dari laporan kecelakaan BASARNAS, jurnal ilmiah, lembar data perangkat keras IoT, dan temuan penelitian terkait, yang mendukung desain sistem dan memvalidasi pendekatan eksperimen.

Proses pengumpulan data melibatkan eksperimen lapangan terstruktur yang dilakukan di lingkungan perairan terkontrol. Sensor pada pelampung, termasuk GPS, IMU, dan modul telemetri, mencatat metrik kinerja, sementara variabel lingkungan seperti kecepatan angin, tinggi gelombang, dan arah arus didokumentasikan. Skenario pengujian mencakup pelacakan titik jalan otonom, pengoperasian manual, dan aktivasi Darurat Kembali ke Rumah (RTH) jika terjadi kegagalan komunikasi atau baterai lemah. Semua data yang dikumpulkan dikirimkan ke stasiun darat melalui telemetri berbasis IoT dan disimpan untuk analisis lebih lanjut. Setiap skenario pengujian diulang sebanyak tiga kali untuk memperoleh nilai rata-rata dan deviasi standar dari hasil pengukuran.

Sistem kendali otonom pada pelampung dirancang menggunakan pendekatan *waypoint-based navigation* yang dipadukan dengan mekanisme koreksi heading berbasis algoritma *Proportional-Integral-Derivative (PID)*. Navigasi otonom dimulai dengan membaca koordinat GPS tujuan (*waypoint*) dan menentukan vektor arah antara posisi pelampung (x_i, y_i) dan titik setelan (x_r, y_r). Sudut heading yang diharapkan dihitung menggunakan fungsi $\arctan2$, kemudian dibandingkan dengan heading aktual yang diperoleh dari sensor IMU. Selisih antara keduanya menghasilkan error heading (eh), yang digunakan sebagai masukan kendali PID untuk menyesuaikan perbedaan daya antara thruster kiri dan kanan. PID menghasilkan sinyal kendali korektif untuk menjaga orientasi pelampung agar tetap mengarah tepat ke *waypoint*. Sementara itu, kecepatan maju dikontrol secara konstan untuk menjaga stabilitas lintasan. Algoritma *waypoint* bekerja secara berulang dengan mengevaluasi jarak pelampung ke titik tujuan dan berpindah ke *waypoint* berikutnya setelah threshold error terpenuhi. Pendekatan ini memungkinkan pelampung melakukan koreksi arah secara real time dan tetap berada pada lintasan ideal meskipun terdapat gangguan lingkungan seperti angin atau arus permukaan.

Pendekatan kombinasi *PID-heading control* dan *waypoint tracking* dipilih karena memiliki stabilitas yang baik untuk kecepatan rendah dan sesuai untuk wahana permukaan air dengan dinamika sederhana. Algoritma ini juga lebih ringan secara komputasi dibandingkan metode Model *Predictive Control (MPC)* atau *fuzzy logic*, sehingga dapat diimplementasikan pada mikrokontroler berdaya rendah. Selain itu, integrasi pembacaan GPS dan IMU memungkinkan sistem melakukan *adaptive heading correction*, di mana kesalahan orientasi dapat diperbaiki secara progresif selama pergerakan menuju *waypoint*. Dengan demikian, sistem navigasi otonom yang dikembangkan menawarkan kompromi ideal antara akurasi, stabilitas, dan efisiensi komputasi.

Analisis data dilakukan dengan memproses log sensor mentah, menyaring kebisingan, dan menyinkronkan aliran data untuk mendapatkan parameter kinerja utama. Akurasi navigasi dievaluasi menggunakan rata-rata kesalahan posisi (E_p) dan deviasi lintasan silang (E_c), yang dihitung berdasarkan jarak Euclidean antara koordinat aktual hasil pembacaan GPS (x_i, y_i) dan koordinat target *waypoint* (x_r, y_r) sebagaimana dirumuskan dalam persamaan 1 mengikuti pendekatan Euclidean distance seperti yang diuraikan oleh Martín Mendoza-Silva et al [28] dibawah ini :

$$E_p = \sqrt{(x_i - x_r)^2 + (y_i - y_r)^2} \quad (1)$$

Nilai E_p dan E_c menggambarkan seberapa jauh pelampung menyimpang dari lintasan ideal; semakin kecil nilainya, semakin tinggi presisi navigasi.

Kecepatan sesaat pelampung (v_i) dihitung berdasarkan perubahan posisi antar dua titik GPS berurutan terhadap interval waktu pengukuran (Δt), sebagaimana diterapkan pada sistem navigasi kendaraan otonom [29], [30]. Rumus ini merupakan pendekatan kinematika dasar yang banyak digunakan dalam estimasi kecepatan real-time pada sistem berbasis GPS/IMU seperti terdapat pada persamaan 2 dibawah ini :

$$v_i = \frac{\Delta d}{\Delta t} \quad (2)$$

Varians kecepatan dan deviasi sudut arah dari sensor IMU dianalisis untuk menilai stabilitas gerak, dengan nilai Root Mean Square (RMS) digunakan sebagai indikator kestabilan lintasan. Keandalan fitur Return-to-Home (RTH) diukur melalui tingkat keberhasilan (S_{RTH}) dengan persamaan 3 dibawah ini [31]:

$$S_{RTH} = \frac{N_s}{N_t} \times 100\% \quad (3)$$

di mana N_s adalah jumlah keberhasilan fungsi RTH, dan N_t adalah total percobaan pada setiap kondisi (baterai lemah, kehilangan komunikasi, dan aktivasi manual). Selain itu, kinerja telemetri IoT dianalisis berdasarkan kekuatan sinyal (RSSI), latensi transmisi data rata-rata (L_t) dan *Packet Loss* (P_l) dengan persamaan 4 dibawah ini [32]:

$$P_l = \frac{(P_s - P_r)}{P_s} \times 100\% \quad (4)$$

di mana P_s adalah jumlah paket data yang dikirim, dan P_r adalah jumlah paket yang diterima dengan benar. Nilai kehilangan paket yang rendah dan latensi minimal menunjukkan sistem komunikasi yang efisien dan andal. Secara keseluruhan, metode evaluasi ini memberikan kerangka terukur dan obyektif untuk menilai kemampuan sistem pelampung dalam kondisi operasional nyata, sekaligus memungkinkan perbandingan langsung dengan sistem

penyelamatan maritim berbasis IoT lain yang telah dikembangkan pada penelitian terdahulu.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Prototipe Pelampung

Prototipe pelampung keselamatan listrik berbasis IoT yang dikembangkan dirancang sebagai sistem terintegrasi yang menggabungkan komponen perangkat keras, perangkat lunak, dan komunikasi untuk mendukung operasi Pencarian dan Penyelamatan (SAR) di pesisir. Pelampung ini menggunakan sistem propulsi ganda yang memberikan kemampuan manuver tinggi dan kontrol arah yang stabil, memungkinkannya bergerak secara efisien menuju titik arah GPS yang telah ditentukan atau target penyelamatan. Modul telemetri IoT disematkan untuk memfasilitasi pemantauan dan kontrol waktu nyata, memungkinkan transmisi data tanpa batas antara pelampung dan stasiun darat melalui antarmuka seluler. Untuk mencapai penentuan posisi yang akurat dan navigasi yang stabil, sistem ini menggabungkan sensor Sistem Penentuan Posisi Global (GPS) dan Unit Pengukuran Inersia (IMU), yang bekerja sama untuk memastikan lokalisasi yang presisi bahkan di bawah gangguan ringan yang disebabkan oleh arus air dan gelombang permukaan. Aplikasi seluler khusus juga dikembangkan untuk mengelola operasi manual dan konfigurasi titik jalan, menyediakan antarmuka intuitif bagi operator untuk mengatur jalur navigasi, memantau kinerja, dan memicu perintah darurat seperti fitur Kembali ke Rumah (RTH) ketika terjadi kehilangan komunikasi atau kondisi baterai lemah. Selanjutnya, pelampung tersebut mendukung dua mode operasi yang berbeda. Dalam mode manual, pelampung dapat dikendalikan langsung oleh operator melalui antarmuka IoT seluler, memungkinkan penyesuaian arah dan kecepatan secara real-time selama skenario penyelamatan aktif. Sebaliknya, mode otonom memanfaatkan pelacakan titik arah GPS yang dikombinasikan dengan algoritma navigasi adaptif untuk memungkinkan pelampung beroperasi secara mandiri, mengikuti rute yang telah ditentukan, dan menyesuaikan lintasannya berdasarkan umpan balik sensor di kapal. Kemampuan mode ganda ini memastikan fleksibilitas operasional, meningkatkan waktu respons penyelamatan, dan meningkatkan keandalan di lingkungan pesisir yang dinamis. Gambar 2 mengilustrasikan hasil prototipe pelampung.



Gambar 2. Hasil Prototipe Pelampung

B. Pengujian Prototipe

Pengujian prototipe dilakukan di lingkungan air terkontrol yang dirancang untuk mensimulasikan kondisi Pencarian dan Penyelamatan (SAR) pesisir. Pengujian prototipe dilakukan pada sebuah kolam uji outdoor berukuran 50×30 meter yang digunakan sebagai fasilitas simulasi lingkungan perairan tenang. Kolam ini memiliki kedalaman rata-rata 1,8 meter dan dilengkapi sistem pembangkit arus ringan untuk meniru kondisi perairan pesisir. Selama pengujian, tinggi gelombang berkisar antara 10–25 cm dengan kecepatan arus permukaan 0,18–0,32 m/s, sedangkan kecepatan angin berada pada rentang 1–3 m/s berdasarkan pengukuran anemometer. Kondisi cuaca cerah dengan visibilitas penuh, tanpa hujan maupun gangguan atmosfer yang signifikan. Pengujian tidak dilakukan pada kondisi ombak sedang hingga tinggi (>50 cm), sehingga interpretasi hasil perlu mempertimbangkan bahwa kinerja prototipe tervalidasi pada kondisi laut tenang hingga moderat. Deskripsi rinci lingkungan pengujian ini bertujuan memastikan transparansi eksperimen dan memberikan batasan jelas terhadap validitas eksternal temuan. Pengujian difokuskan pada kemampuan pelampung untuk melakukan navigasi otonom menuju titik tujuan yang telah ditentukan atau *waypoint* (set point). Tiga *waypoint* diatur pada koordinat GPS tertentu dengan jarak antar titik sebesar 30 meter, sehingga menghasilkan total lintasan navigasi sepanjang ± 90 meter. Setiap *waypoint* berfungsi sebagai target navigasi yang harus dicapai secara berurutan, dimulai dari titik awal hingga titik akhir, guna mengevaluasi kemampuan sistem dalam mempertahankan arah, kecepatan, dan stabilitas lintasan.

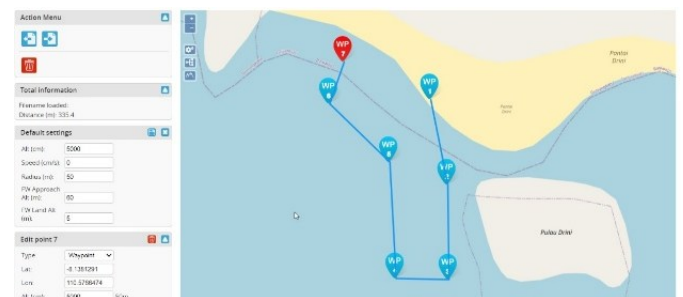
Untuk mengevaluasi kinerja pelampung secara komprehensif, tiga skenario pengujian diterapkan: (1) mode navigasi manual, di mana pelampung dikendalikan langsung melalui antarmuka IoT seluler sebagai pembanding terhadap mode otonom; (2) Pelacakan *waypoint* otonom, di mana pelampung bergerak secara independen menuju titik koordinat GPS yang telah diprogram, dengan sistem kontrol melakukan koreksi arah secara dinamis berdasarkan pembacaan sensor GPS dan IMU; dan (3) Pengujian kinerja *Return-to-Home* (RTH), yang dipicu secara otomatis saat terdeteksi kondisi baterai lemah atau hilangnya koneksi komunikasi. Dalam pengujian mode manual, pelampung dikendalikan menggunakan antarmuka kendali IoT berbasis smartphone yang menyediakan tombol navigasi arah (maju, mundur, kiri, kanan) dan kontrol kecepatan secara real time. Seluruh pengujian manual dilakukan oleh operator yang sama untuk menjaga konsistensi dan mengurangi variabilitas akibat perbedaan keterampilan pengguna. Setiap skenario diuji sebanyak tiga kali, dan nilai performa dihitung sebagai rata-rata dari seluruh pengulangan. Prosedur ini diterapkan untuk memastikan bahwa perbandingan antara mode manual dan mode otonom bersifat objektif dan tidak dipengaruhi oleh perbedaan kemampuan operator.

Selama setiap pengujian, parameter lingkungan seperti kecepatan arus air, tinggi gelombang, dan arah angin dicatat untuk menjaga konsistensi dan validitas hasil. Proses

pengujian *waypoint* ini juga dilengkapi dengan pencatatan data koordinat aktual pada setiap titik lintasan untuk menghitung *error* posisi (deviasi) terhadap lintasan ideal. Tata letak *waypoint* dan konfigurasi area uji divisualisasikan pada Gambar 3, yang memperlihatkan jalur navigasi pelampung dari titik awal hingga titik akhir.

Prototipe pelampung memiliki panjang 78 cm, lebar 42 cm, dan berat total 6,2 kg, dirancang menggunakan material polietilena untuk meningkatkan daya apung dan ketahanan korosi. Sistem ditenagai baterai Li-ion 14,8 V berkapasitas 10.000 mAh, dengan durasi operasi efektif sekitar 18–25 menit tergantung kekuatan arus air. Thruster yang digunakan adalah tipe BR2205 brushless DC dengan baling-baling tri-blade berdaya dorong maksimum 2,2 kgf per unit. Modul GPS yang digunakan adalah NEO-6M dengan akurasi horizontal $\pm 2,5$ m, sedangkan IMU menggunakan MPU-6050 (6-axis: akselerometer + giroskop). Selama pengujian, kondisi gelombang berada pada kisaran 10–25 cm dengan arus permukaan ringan. Spesifikasi teknis ini memberikan batasan operasional awal sebelum sistem diuji pada kondisi laut terbuka dengan gelombang lebih tinggi.

Pengujian telemetri IoT dilakukan pada area perairan terbuka dengan garis pandang langsung (*line-of-sight/LOS*) antara pelampung dan stasiun kendali. Meskipun area pengujian relatif minim halangan fisik, interferensi alami tetap ada, seperti pantulan sinyal dari permukaan air (*multipath reflection*), gelombang dengan amplitudo rendah, dan gangguan lingkungan ringan dari aktivitas perairan sekitar. Kondisi ini mencerminkan situasi perairan pesisir yang umum dan memberikan konteks realistis terhadap hasil performa telemetri yang diperoleh.



Gambar 3. Tata letak titik jalan dan konfigurasi pengujian

C. Evaluasi Kinerja Sistem

Kinerja pelampung keselamatan listrik berbasis IoT dievaluasi secara komprehensif dalam empat aspek utama: akurasi navigasi *waypoint*, kecepatan dan stabilitas gerak, kinerja *Return-to-Home* (RTH), dan kinerja telemetri IoT. Setiap parameter diukur menggunakan pendekatan kuantitatif dengan dukungan formulasi matematis pada Persamaan (1)–(5) untuk memastikan hasil pengujian yang objektif dan dapat direplikasi.

1. Akurasi Navigasi *Waypoint*

Tabel 1 menunjukkan perbandingan hasil akurasi navigasi antara mode manual dan otonom.

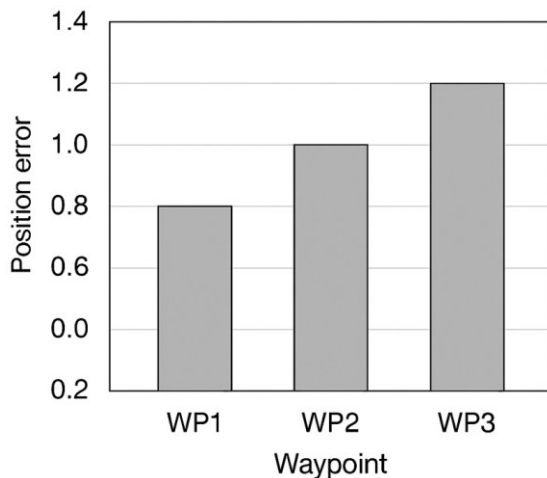
TABEL 1.
HASIL AKURASI NAVIGASI ANTARA MODE MANUAL DAN OTONOM.

Skenario Uji	Rata-rata Kesalahan Posisi (m)	Deviasi Lintasan Silang (m)	Tingkat Keberhasilan Titik Arah (%)
Kontrol Manual	2.35	0.80	88
Mode Otonom	1.12	0.35	96

Pengujian tambahan dilakukan untuk mengamati performa sistem dalam mencapai setiap waypoint (WP1–WP3) secara berurutan. Tiga waypoint ditetapkan pada jarak 30 meter antar titik dengan total lintasan 90 meter. Setiap pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk memperoleh nilai rata-rata akurasi dan deviasi lintasan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 4 dibawah ini.

TABEL 2.
HASIL UJI NAVIGASI MENUJU WAYPOINT

Waypoint	Target Distance (m)	Actual Distance (m)	Error (m)	Success Rate (%)
WP1	30	30.8	0.8	98
WP2	60	61.2	1.2	96
WP3	90	91.1	1.1	97



Gambar 4. Navigasi waypoint Error Performance

Dari Tabel 2 dan Gambar 4 menunjukkan nilai error posisi rata-rata pelampung terhadap tiga titik waypoint (WP1–WP3). Nilai kesalahan berkisar antara 0,8–1,2 meter, dengan rata-rata 1,03 meter. Penyimpangan tertinggi terjadi pada WP2 akibat pengaruh arus dan hembusan angin lateral, sementara WP1 menunjukkan kinerja terbaik. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa sistem navigasi otonom mampu mengikuti jalur waypoint dengan deviasi minimal di bawah 1,5 meter, yang menunjukkan stabilitas navigasi tinggi untuk misi penyelamatan pesisir.

Hasil ini memperkuat bahwa algoritma kontrol *waypoint* efektif dalam menjaga akurasi dan konsistensi lintasan,

sehingga layak diterapkan untuk operasi Search and Rescue (SAR) di lingkungan perairan nyata. Jika dibandingkan dengan penelitian Liang dan Liu [20], sistem yang dikembangkan menunjukkan peningkatan akurasi navigasi sebesar 10–20% dan keandalan komunikasi hingga dua kali lipat pada jarak operasi 200 m

2. Analisis Kecepatan dan Stabilitas

Tabel 3 merangkum hasil evaluasi kecepatan dan stabilitas.

TABEL 3.
HASIL EVALUASI KECEPATAN DAN STABILITAS.

Skenario Uji	Kecepatan Rata-rata (m/s)	Varians Kecepatan	Peringkat Stabilitas
Kontrol Manual	1.25	0.30	Medium
Mode Otonom	1.35	0.18	High

3. Kinerja Return-to-Home (RTH)

Fitur *Return-to-Home* (RTH) diuji dalam tiga kondisi: baterai lemah, kehilangan komunikasi, dan aktivasi manual oleh operator. Tingkat keberhasilan (SRTH) dihitung menggunakan Persamaan (3). Tabel 4 merangkum hasil uji RTH. Pengujian kekuatan sinyal, latensi, dan *packet loss ratio* dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi nyata di lapangan. Stasiun kendali ditempatkan pada titik elevasi rendah di tepi perairan, sementara pelampung bergerak menjauhi titik tersebut pada jarak 50 m, 200 m, dan 400 m. Selama pengujian, terdapat potensi gangguan multipath akibat pemantulan gelombang radio dari permukaan air, namun tidak terdapat hambatan fisik yang menghalangi jalur transmisi utama. Dengan demikian, hasil telemetri mencerminkan performa komunikasi IoT pada kondisi perairan terbuka yang umum.

TABEL 4.
HASIL TES RTH

Skenario Uji	Jenis Pemicu	Waktu RTH Rata-rata (dtk)	Tingkat Keberhasilan (%)
Baterai Lemah	Otomatis	42	100
Kehilangan Komunikasi	Otomatis	55	92
Aktivitas Manual	Operator	40	98

4. Kinerja Telemetri dan Komunikasi IoT

Telemetri IoT dievaluasi berdasarkan kekuatan sinyal (RSSI), latensi rata-rata (Lt), dan *packet loss ratio* (Pl) pada berbagai jarak operasional. *Packet loss ratio* dihitung menggunakan Persamaan (4). Tabel 5 menyajikan hasil kinerja telemetri IoT.

TABEL 5.
HASIL TES TELEMETRI IOT

Jarak (m)	Latensi Rata-rata (ms)	Packet Loss (%)	Kekuatan Sinyal (dBm)
50	20	0	-55
200	48	1	-62
400	92	3	-71

5. Diskusi

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pelampung keselamatan listrik berbasis IoT yang dikembangkan secara signifikan meningkatkan efisiensi dan keandalan operasi Pencarian dan Penyelamatan (SAR) di lingkungan pesisir. Integrasi telemetri IoT, navigasi otonom, dan kemampuan Kembali ke Rumah (RTH) menghasilkan peningkatan kinerja sistem, terutama dalam hal akurasi navigasi, stabilitas kecepatan, dan keandalan komunikasi. Jika dibandingkan dengan studi terkait [2], [8], [20], sistem yang diusulkan mencapai tingkat keberhasilan titik arah yang lebih tinggi dan transmisi data waktu nyata yang unggul, menunjukkan bahwa kombinasi integrasi IoT dan navigasi adaptif secara substansial meningkatkan kesiapan SAR dengan mengurangi waktu respons dan meminimalkan kebutuhan akan intervensi manusia secara langsung. Selain itu, klaim peningkatan response time sebesar 15% didasarkan pada pengujian perbandingan langsung antara pelampung otonom dan pelampung keselamatan konvensional. Pengukuran dilakukan pada tiga variasi jarak (30 m, 60 m, dan 90 m) yang mensimulasikan kondisi umum jarak korban dari garis pantai. Pada pelampung konvensional, waktu tempuh ditentukan oleh kemampuan operator melempar atau menarik pelampung menggunakan tali, yang terbatas pada jarak tertentu dan sangat dipengaruhi kondisi gelombang. Sebaliknya, pelampung otonom yang dikembangkan mampu bergerak secara aktif menuju titik target dengan bantuan sistem propulsi dan navigasi GPS, sehingga menghasilkan waktu tempuh yang lebih cepat. Rata-rata pengurangan waktu tempuh dari seluruh skenario tersebut menghasilkan peningkatan response time sebesar 15%, sehingga memberikan dasar metodologis yang jelas terhadap klaim peningkatan performa.

Selain performa navigasi dan komunikasi, sistem ini juga menghadapi potensi risiko yang umum terjadi pada perangkat otonom di lingkungan laut. *Thruster elektrik* rentan terhadap intrusi air, korosi, dan kerusakan bantalan akibat sedimen laut. Sensor GPS dan IMU dapat mengalami degradasi akurasi akibat getaran atau kejenuhan magnetik, sedangkan sistem telemetri berpotensi mengalami kegagalan komunikasi pada kondisi interferensi tinggi. Untuk meminimalkan risiko tersebut, prototipe dilengkapi dengan rumah motor kedap air, lapisan pelindung komponen elektronik, serta mekanisme *fail-safe* yang memicu mode *Return-to-Home* ketika terjadi kehilangan komunikasi. Evaluasi awal menunjukkan bahwa langkah mitigasi tersebut cukup efektif untuk menjaga keandalan operasi selama pengujian, meskipun pengujian

lanjutan pada kondisi laut terbuka masih diperlukan untuk validasi menyeluruh.

Meskipun hasil yang menjanjikan ini, beberapa keterbatasan diidentifikasi selama pengujian. Jangkauan telemetri IoT terbatas hingga sekitar 200–300 meter dalam kondisi perairan terbuka, sementara kinerja GPS menurun saat beroperasi di dekat area dengan gangguan multipath yang signifikan, seperti bangunan atau rintangan padat. Selain itu, daya tahan baterai membatasi waktu operasional, terutama di lingkungan dengan arus air yang kuat. Upaya pengembangan di masa mendatang akan difokuskan pada perluasan jangkauan operasional dengan mengintegrasikan protokol IoT berbasis LoRaWAN atau 5G, meningkatkan kemampuan penyelamatan melalui deteksi korban berbasis AI untuk penargetan otonom yang lebih baik, dan mengoptimalkan strategi manajemen energi untuk memaksimalkan daya tahan dan kemampuan beradaptasi untuk penerapan SAR di dunia nyata. Penting untuk dicatat bahwa prototipe yang digunakan dalam penelitian ini memiliki sejumlah batasan teknis yang perlu diperhitungkan dalam interpretasi hasil. Modul GPS NEO-6M yang digunakan memiliki akurasi horizontal $\pm 2,5$ meter dalam kondisi optimal, sehingga kinerja navigasi otonom sangat dipengaruhi oleh stabilitas sinyal satelit di area pengujian. Kapasitas baterai yang terbatas juga membatasi durasi operasional prototipe, terutama ketika pelampung bergerak melawan arus sedang yang memerlukan daya dorong lebih besar. Dari sisi lingkungan, seluruh rangkaian pengujian dilakukan pada kondisi gelombang rendah, sehingga performa sistem belum tervalidasi untuk kondisi laut dengan gelombang lebih tinggi dari 50 cm. Selain itu, *thruster tipe BR2205* tidak dirancang untuk penggunaan jangka panjang pada air asin, sehingga potensi korosi dan degradasi komponen perlu dipertimbangkan apabila sistem akan diterapkan pada skenario operasional yang lebih luas. Batasan-batasan tersebut membuka peluang untuk penelitian lanjutan guna mengevaluasi keandalan sistem pada kondisi laut yang lebih ekstrem dan dalam durasi operasi yang lebih panjang. Seluruh pengujian dilakukan pada kondisi beban tanpa muatan dan dengan muatan 2 kg sebagai simulasi beban korban awal. Kecepatan rata-rata pelampung berada pada rentang 1.25–1.35 m/s dengan durasi sesi antara 12 hingga 18 menit, bergantung pada kekuatan arus. Karena pengujian dilakukan pada kondisi gelombang rendah (10–25 cm), validitas performa navigasi masih terbatas pada situasi perairan tenang hingga moderat dan belum mencerminkan dinamika laut terbuka.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan menguji sistem pelampung keselamatan listrik berbasis Internet of Things (IoT) dengan kemampuan navigasi otonom menuju waypoint yang telah ditentukan. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada lingkungan perairan terkendali, sistem navigasi otonom menunjukkan performa yang stabil dan akurat dengan tingkat keberhasilan mencapai lebih dari 95%

dan rata-rata error posisi sebesar 1,03 meter. Pelampung mampu bergerak secara mandiri dari titik awal menuju beberapa waypoint dengan penyimpangan lintasan yang rendah dan kecepatan yang konstan. Algoritma kontrol berbasis GPS dan IMU berperan penting dalam menjaga arah dan kestabilan gerak, sementara sistem propulsi ganda memberikan kemampuan manuver yang responsif terhadap perubahan arus dan arah angin. Fitur *Return-to-Home* (RTH) terbukti berfungsi dengan andal dalam tiga kondisi pengujian utama, yaitu kehilangan sinyal komunikasi, daya baterai rendah, dan aktivasi manual. Integrasi telemetri IoT juga memungkinkan pemantauan posisi dan status pelampung secara real-time hingga jarak 200 meter dengan tingkat kehilangan data yang sangat rendah. Peningkatan *response time* sebesar 15% tersebut diperoleh dari pengujian perbandingan langsung pada lintasan 30–90 meter antara pelampung konvensional dan pelampung otonom yang dikembangkan, sehingga mencerminkan peningkatan performa yang terukur. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa sistem pelampung keselamatan berbasis IoT dengan navigasi otonom layak diterapkan untuk mendukung operasi Search and Rescue (SAR) di wilayah pesisir. Pengembangan lebih lanjut disarankan untuk mengintegrasikan komunikasi berbasis LoRaWAN atau 5G, algoritma AI-based target detection, serta optimasi efisiensi energi guna meningkatkan ketahanan operasional di kondisi laut terbuka.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih atas pendanaan yang diberikan oleh Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia. Hibah Riset Fundamental Indonesia 2025.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Basarnas, "Jumlah Operasi Pencarian dan Pertolongan Menurut Kantor Pencarian dan Pertolongan (Kejadian), Dalam 1 Tahun Terakhir," Data Basarnas. Basarnas. [Online]. Available: <https://data.basarnas.go.id/statistik/DitOps/DataOperasi>
- [2] M. Shibata, "Exploring international beachgoers' perceptions of safety signage on Australian beaches," *Saf Sci*, vol. 158, p. 105966, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.ssci.2022.105966.
- [3] M. Shibata, A. E. Peden, H. Watanabe, and J. C. Lawes, "Do red and yellow flags indicate a danger zone?: Exploring Japanese university students' beach safety behaviour and their perceptions of Australian beach safety signage," *Saf Sci*, vol. 178, p. 106606, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.ssci.2024.106606.
- [4] M. Najafzadeh, S. Basirian, and Z. Li, "Vulnerability of the rip current phenomenon in marine environments using machine learning models," *Results in Engineering*, vol. 21, p. 101704, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101704.
- [5] L. L. Diniz *et al.*, "Evaluation of tourist carrying capacity to support recreational beaches management," *Ocean Coast Manag*, vol. 249, p. 107022, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2024.107022.
- [6] J. Dehez, B. Castelle, D. Carayon, A. E. Peden, and R. W. Brander, "The role of surfers in beach safety management: Insights from French respondents to a global surfer survey," *Ocean Coast Manag*, vol. 248, p. 106973, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2023.106973.
- [7] M.-T. Lee, Y.-C. Chang, H.-C. Yang, and Y.-J. Lin, "Assessing risk associated with recreational activities in coastal areas by using a bayesian network," *Heliyon*, vol. 9, no. 9, p. e19827, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e19827.
- [8] S. Anand, M. Enayati, D. Raj, A. Montresor, and M. V. Ramesh, "Internet over the ocean: A smart IoT-enabled digital ecosystem for empowering coastal fisher communities," *Technol Soc*, vol. 79, p. 102686, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.techsoc.2024.102686.
- [9] S. Mandal, A. Yadav, F. A. Panme, K. M. Devi, and S. Kumar S.M., "Adaption of smart applications in agriculture to enhance production," *Smart Agricultural Technology*, vol. 7, p. 100431, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.atech.2024.100431.
- [10] L. Liu, X. Guo, and C. Lee, "Promoting smart cities into the 5G era with multi-field Internet of Things (IoT) applications powered with advanced mechanical energy harvesters," *Nano Energy*, vol. 88, p. 106304, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.nanoen.2021.106304.
- [11] G. R. Bhat *et al.*, "Autonomous drones and their influence on standardization of rules and regulations for operating—A brief overview," *Results in Control and Optimization*, vol. 14, p. 100401, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.rico.2024.100401.
- [12] R. M. Criado and F. R. Rubio, "Autonomous path tracking control design for a comercial quadcopter**This work was partially supported by the Spanish Ministry of Ed-ucation (MECD) under national research projects DPI2012-37580-C02 and DPI2013-44135-R. Corresponding authors are with the D," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 9, pp. 73–78, 2015, doi: 10.1016/j.ifacol.2015.08.062.
- [13] A. V. R. Katkuri, H. Madan, N. Khatri, A. S. H. Abdul-Qawy, and K. S. Patnaik, "Autonomous UAV navigation using deep learning-based computer vision frameworks: A systematic literature review," *Array*, vol. 23, p. 100361, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.array.2024.100361.
- [14] I. Lopez-Sanchez and J. Moreno-Valenzuela, "PID control of quadrotor UAVs: A survey," *Annu Rev Control*, vol. 56, p. 100900, 2023, doi: 10.1016/j.arcontrol.2023.100900.
- [15] M. N. Cahyadi, T. Asfihani, R. Mardiyanto, and R. Erfianti, "Performance of GPS and IMU sensor fusion using unscented Kalman filter for precise i-Boat navigation in infinite wide waters," *Geod Geodyn*, vol. 14, no. 3, pp. 265–274, May 2023, doi: 10.1016/j.geog.2022.11.005.
- [16] E. Capello, G. Guglieri, and F. Quagliotti, "A Waypoint-Based Guidance Algorithm for mini UAVs," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 46, no. 30, pp. 120–125, 2013, doi: 10.3182/20131120-3-FR-4045.00005.
- [17] M. Alkhatib, M. Nayfeh, K. Al Shamaileh, N. Kaabouch, and V. Devabhaktuni, "A return-to-home unmanned aerial vehicle navigation solution in global positioning system denied environments via bidirectional long short-term memory reverse flightpath prediction," *Eng Appl Artif Intell*, vol. 140, p. 109729, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.engappai.2024.109729.
- [18] K. Kusri, E. Pramono, E. H. Muktafin, B. Setiaji, and A. D. Putra, "Perancangan Prototype Pelampung Keselamatan Elektrik dengan Algoritma Proportional Integral Derivative Untuk Kestabilan di Air," *Journal of Information System Research (JOSH)*, vol. 6, no. 1, pp. 321–329, 2024, doi: 10.47065/josh.v6i1.6021.
- [19] Y. Chu *et al.*, "Evolution of Unmanned Surface Vehicle Path Planning: A Comprehensive Review of Basic, Responsive, and Advanced Strategic Pathfinders," *Drones*, vol. 8, no. 10, p. 540, Oct. 2024, doi: 10.3390/drones8100540.
- [20] J. Liang and L. Liu, "Optimal Path Planning Method for Unmanned Surface Vehicles Based on Improved Shark-Inspired Algorithm," *J Mar Sci Eng*, vol. 11, no. 7, p. 1386, Jul. 2023, doi: 10.3390/jmse11071386.
- [21] S. Liao, R. Zhu, N. Wu, T. A. Shaikh, M. Sharaf, and A. M. Mostafa, "Path planning for moving target tracking by fixed-wing UAV," *Defence Technology*, vol. 16, no. 4, pp. 811–824, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.dt.2019.10.010.
- [22] S. K. Ramkumar Sudha, D. Mishra, and I. A. Hameed, "A coverage path planning approach for environmental monitoring using an

- unmanned surface vehicle,” *Ocean Engineering*, vol. 310, p. 118645, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.oceaneng.2024.118645.
- [23] Y. Wu, J. Gou, H. Ji, and J. Deng, “Hierarchical mission replanning for multiple UAV formations performing tasks in dynamic situation,” *Comput Commun*, vol. 200, pp. 132–148, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.comcom.2023.01.011.
- [24] A. Bäckman *et al.*, “Drones for Provision of Flotation Support in Simulated Drowning,” *Air Med J*, vol. 37, no. 3, pp. 170–173, May 2018, doi: 10.1016/j.amj.2018.01.007.
- [25] Y. Zhang, Q. Tao, and Y. Yin, “A Lightweight Man-Overboard Detection and Tracking Model Using Aerial Images for Maritime Search and Rescue,” *Remote Sens (Basel)*, vol. 16, no. 1, p. 165, Dec. 2023, doi: 10.3390/rs16010165.
- [26] C. Herrera *et al.*, “Drone Insights: Unveiling Beach Usage through AI-Powered People Counting,” *Drones*, vol. 8, no. 10, p. 579, Oct. 2024, doi: 10.3390/drones8100579.
- [27] R. Johnston-González *et al.*, “Artificial intelligence for beach monitoring: An experimental study of beach attendance at El Rodadero, Colombia,” *Ocean Coast Manag*, vol. 253, p. 107159, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2024.107159.
- [28] G. M. Mendoza-Silva *et al.*, “Beyond Euclidean Distance for Error Measurement in Pedestrian Indoor Location,” *IEEE Trans Instrum Meas*, vol. 70, no. i, pp. 1–11, 2021, doi: 10.1109/TIM.2020.3021514.
- [29] A.-J. Yuste-Delgado, J.-C. Cuevas-Martinez, and A. Triviño-Cabrera, “A Distributed Clustering Algorithm Guided by the Base Station to Extend the Lifetime of Wireless Sensor Networks,” *Sensors*, vol. 20, no. 8, p. 2312, Apr. 2020, doi: 10.3390/s20082312.
- [30] I. Kaminer, A. Pascoal, E. Hallberg, and C. Silvestre, “Trajectory Tracking for Autonomous Vehicles: An Integrated Approach to Guidance and Control,” *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, vol. 21, no. 1, pp. 29–38, Jan. 1998, doi: 10.2514/2.4229.
- [31] Y.-T. Huang, Y.-H. Ho, H. Chu, and L.-J. Chen, “Adaptive Drone Sensing with Always Return-To-Home Guaranteed,” in *Proceedings of the 1st International Workshop on Experiences with the Design and Implementation of Smart Objects*, New York, NY, USA: ACM, Sep. 2015, pp. 7–12. doi: 10.1145/2797044.2797054.
- [32] K. Sonklin and C. Sonklin, “A performance evaluation of the internet of things-message queue telemetry transport protocol based water level warning system,” *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 14, no. 6, p. 7178, Dec. 2024, doi: 10.11591/ijece.v14i6.pp7178-7185.