



## Perancangan dan Evaluasi Kinerja Smart Buoy Berbasis GPS-IoT untuk Monitoring Posisi Real-Time di Perairan Batam

Deosa Putra Caniago<sup>1</sup>, Najirah Umar<sup>2</sup>, Irfan Nafis Sjamsuddin<sup>3</sup>, Ariana Tulus Purnomo<sup>4\*</sup>, Ali Rifqi Rafsanjani<sup>5</sup>

<sup>1,5</sup>Teknik Komputer, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Batam

<sup>2</sup>Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Handayani Makassar

<sup>3</sup>Sains Data, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi Tasikmalaya

<sup>4</sup>Ilmu Komputer, Fakultas Teknik dan Teknologi, Universitas Sampoerna

<sup>1</sup>deosa@iteba.ac.id, <sup>2</sup>najirah@handayani.ac.id, <sup>3</sup>irfansjam@unsil.ac.id, <sup>4\*</sup>ariana.purnomo@sampoernauniversity.ac.id, <sup>5</sup>2422052@iteba.ac.id

### Abstract

*This study aims to develop and evaluate the performance of a smart buoy system based on the Global Positioning System (GPS) and the Internet of Things (IoT) for real-time position tracking in Batam waters. Unlike previous studies that generally employed multi-sensor integration with high system complexity and implementation cost, this research develops a simple smart buoy using a single GPS sensor and cellular communication as a low-cost solution for water monitoring applications. The research method applies an experimental prototype-based approach consisting of system design, hardware and software implementation, and field testing under real environmental conditions in Batam waters. The system integrates a GPS module as the primary positioning sensor, a microcontroller as the processing unit, and a SIM808 module for data transmission through cellular networks. The evaluation parameters include positioning accuracy, data transmission success rate, and continuous position tracking capability. The experimental results show that the system achieved an average positioning error of 3.32 meters with a data transmission success rate of 96%. In addition, the system was capable of representing real-time position changes with a tracking consistency level above 95%. Based on these results, the developed smart buoy system is considered feasible as an initial prototype for GPS-IoT-based water position monitoring with a simple architecture and relatively low implementation cost.*

*Keywords: smart buoy, GPS, IoT, water monitoring, position tracking.*

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi kinerja sistem smart buoy berbasis Global Positioning System (GPS) dan Internet of Things (IoT) untuk pelacakan posisi real-time di perairan Batam. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya menggunakan integrasi multi-sensor dengan kompleksitas dan biaya implementasi yang tinggi, penelitian ini mengembangkan smart buoy sederhana berbasis GPS tunggal dan komunikasi seluler sebagai solusi monitoring perairan berbiaya rendah. Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimental berbasis prototipe yang meliputi perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian lapangan pada kondisi nyata di perairan Batam. Sistem dikembangkan menggunakan modul GPS sebagai sensor utama, mikrokontroler sebagai unit pemrosesan, dan modul SIM808 untuk transmisi data melalui jaringan seluler. Parameter pengujian meliputi akurasi posisi, keberhasilan pengiriman data, dan kemampuan tracking posisi secara kontinu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem menghasilkan rata-rata error posisi sebesar 3.32 meter dengan tingkat keberhasilan pengiriman data mencapai 96%. Selain itu, sistem mampu merepresentasikan perubahan posisi secara real-time dengan tingkat konsistensi tracking di atas 95%. Berdasarkan hasil tersebut, sistem smart buoy yang dikembangkan dinilai layak sebagai

prototipe awal untuk monitoring posisi perairan berbasis GPS-IoT dengan pendekatan sederhana dan biaya implementasi yang relatif rendah.

Kata kunci: smart buoy, GPS, IoT, monitoring perairan, tracking posisi.

© 2026 Author

Creative Commons Attribution 4.0 International License



## 1. Pendahuluan

Wilayah perairan laut memiliki peran penting dalam mendukung aktivitas ekonomi, transportasi, serta pengelolaan sumber daya kelautan. Kota Batam sebagai wilayah kepulauan dengan aktivitas maritim yang tinggi memerlukan sistem monitoring yang mampu memberikan informasi posisi secara akurat dan berkelanjutan [1]. Monitoring posisi di perairan menjadi salah satu aspek penting dalam mendukung pengawasan wilayah, navigasi, serta pengelolaan aktivitas laut secara efisien [2].

Namun demikian, sistem monitoring konvensional di wilayah perairan masih menghadapi berbagai keterbatasan, terutama dari segi biaya operasional, jangkauan, dan ketergantungan terhadap infrastruktur tertentu [3]. Teknologi seperti radar dan sistem berbasis satelit memiliki biaya implementasi yang tinggi serta kurang fleksibel untuk digunakan dalam skala penelitian atau sistem monitoring sederhana [4]. Selain itu, pendekatan berbasis patroli manual juga memiliki keterbatasan dalam hal kontinuitas pemantauan dan efisiensi sumber daya [5].

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan solusi alternatif dalam pengembangan sistem monitoring berbasis perangkat cerdas yang mampu bekerja secara mandiri dan terdistribusi [6]. IoT memungkinkan integrasi sensor, mikrokontroler, dan sistem komunikasi sehingga data dapat dikumpulkan dan dikirimkan secara real-time ke pusat pemantauan [7]. Dalam beberapa penelitian, IoT telah digunakan untuk berbagai aplikasi monitoring, termasuk pemantauan lingkungan laut dan pelacakan objek bergerak di perairan [8].

Salah satu pendekatan yang berkembang dalam implementasi IoT di lingkungan perairan adalah penggunaan smart buoy, yaitu perangkat apung yang dilengkapi dengan sensor dan sistem komunikasi untuk melakukan pengambilan dan pengiriman data secara kontinu [9]. Smart buoy memiliki keunggulan dalam hal fleksibilitas penempatan, kemampuan operasi mandiri, serta biaya implementasi yang relatif lebih rendah dibandingkan sistem monitoring konvensional [10]. Dengan memanfaatkan smart buoy, sistem monitoring dapat ditempatkan langsung di titik strategis tanpa memerlukan infrastruktur tambahan yang kompleks [11].

Dalam penelitian ini, teknologi Global Positioning System (GPS) digunakan sebagai komponen utama untuk memperoleh data posisi secara akurat [12].

GPS merupakan teknologi navigasi yang banyak digunakan dalam sistem pelacakan karena memiliki tingkat akurasi yang cukup baik serta kemudahan integrasi dengan sistem berbasis mikrokontroler [13]. Kombinasi antara GPS dan IoT memungkinkan pengembangan sistem monitoring posisi yang efisien dan mampu bekerja secara real-time dengan konsumsi daya yang relatif rendah [14].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring berbasis IoT di lingkungan laut, namun sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada pengukuran parameter lingkungan seperti suhu, kualitas air, dan kondisi cuaca, serta menggunakan sistem dengan kompleksitas tinggi melalui integrasi multi-sensor [15]. Pendekatan tersebut kurang sesuai untuk tahap pengembangan awal karena membutuhkan sumber daya yang lebih besar serta tingkat kompleksitas sistem yang tinggi.

Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat kebutuhan untuk mengembangkan sistem monitoring perairan yang lebih sederhana, efisien, dan mudah diimplementasikan sebagai tahap awal pengembangan teknologi. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada perancangan dan implementasi smart buoy berbasis GPS dan IoT yang digunakan untuk monitoring posisi di perairan Batam.

Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada pengembangan smart buoy berbasis multi-sensor untuk monitoring parameter lingkungan laut seperti suhu, kualitas air, dan kondisi cuaca. Pendekatan tersebut umumnya memerlukan integrasi perangkat yang kompleks, konsumsi daya yang lebih besar, serta biaya implementasi yang relatif tinggi. Selain itu, sebagian besar penelitian masih berorientasi pada monitoring lingkungan dan belum secara khusus difokuskan pada sistem pelacakan posisi sederhana berbasis GPS untuk wilayah perairan Indonesia. Penelitian mengenai smart buoy berbasis GPS tunggal dengan pendekatan low-cost untuk monitoring posisi real-time di wilayah perairan Batam masih sangat terbatas.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan smart buoy sederhana berbasis GPS-IoT yang menggunakan GPS sebagai sensor utama tunggal dengan komunikasi seluler berbasis SIM808 untuk pelacakan posisi real-time di wilayah perairan Batam. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan integrasi multi-sensor dengan

kompleksitas tinggi, sistem yang dikembangkan pada penelitian ini dirancang dengan pendekatan low-cost dan arsitektur sederhana sehingga lebih mudah diimplementasikan sebagai prototipe awal monitoring posisi perairan berbasis IoT.

Tujuan dari penelitian ini adalah: (1) merancang sistem smart buoy berbasis GPS dan IoT untuk monitoring posisi di perairan, (2) mengimplementasikan sistem pada perangkat keras berbasis mikrokontroler, dan (3) mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan akurasi posisi dan kemampuan pengiriman data.

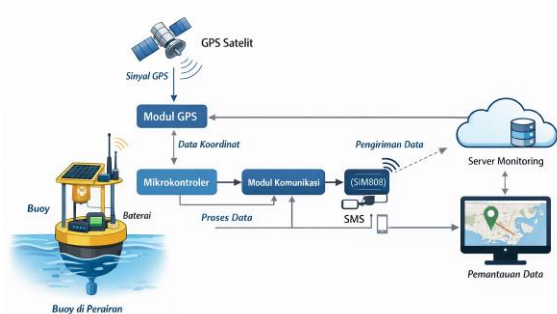
## 2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini meliputi tahap perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian kinerja sistem. Sistem yang dikembangkan berupa smart buoy berbasis GPS dan IoT untuk monitoring posisi di perairan. Metode yang digunakan bersifat eksperimental dengan pendekatan prototipe, sehingga sistem dapat diuji secara langsung pada kondisi nyata.

### 2.1 Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu modul GPS sebagai sensor posisi, mikrokontroler sebagai unit pemrosesan, serta modul komunikasi IoT sebagai media transmisi data. Sistem dirancang agar mampu membaca data koordinat secara periodik dan mengirimkan data tersebut ke sistem monitoring.

Alur kerja sistem dimulai dari pembacaan data koordinat oleh modul GPS, kemudian data diproses oleh mikrokontroler dan dikirimkan melalui modul komunikasi ke perangkat penerima atau server monitoring.



Gambar 1. Arsitektur Sistem Smart Buoy Berbasis GPS dan IoT

Gambar 1 menunjukkan arsitektur sistem smart buoy berbasis GPS dan IoT yang dirancang untuk melakukan monitoring posisi di perairan. Sistem dimulai dari modul GPS yang menerima sinyal dari satelit untuk memperoleh data koordinat berupa latitude dan longitude. Data tersebut kemudian diproses oleh mikrokontroler sebelum diteruskan ke modul komunikasi berbasis SIM808. Modul ini berfungsi untuk mengirimkan data koordinat melalui jaringan seluler dalam bentuk SMS ke perangkat

penerima. Selanjutnya, data yang diterima dapat diolah dan ditampilkan pada sistem monitoring berbasis IoT sehingga memungkinkan pengguna untuk melakukan pemantauan posisi buoy secara jarak jauh. Keseluruhan sistem didukung oleh sumber daya baterai yang terpasang pada buoy sehingga dapat beroperasi secara mandiri di lingkungan perairan.

### 2.2 Perancangan Perangkat Keras

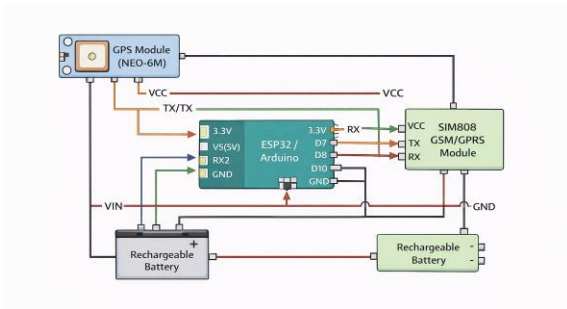
Perangkat keras sistem smart buoy terdiri dari beberapa komponen utama yang terintegrasi dalam satu platform. Modul GPS NEO-6M digunakan sebagai sensor utama untuk memperoleh data koordinat latitude dan longitude secara real-time. Data koordinat yang diperoleh kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan data dan pengendali sistem. Selanjutnya, modul komunikasi SIM808 digunakan sebagai media transmisi data melalui jaringan seluler untuk mengirimkan informasi posisi ke sistem monitoring. Sistem juga didukung oleh sumber daya berupa baterai yang memungkinkan perangkat beroperasi secara mandiri di lingkungan perairan. Seluruh komponen ditempatkan pada struktur buoy yang dirancang sebagai platform apung untuk melindungi perangkat elektronik dari pengaruh lingkungan luar seperti air dan gelombang laut. Integrasi seluruh komponen dilakukan dengan mempertimbangkan efisiensi daya, stabilitas sistem, dan ketahanan perangkat terhadap kondisi lingkungan perairan.



Gambar 2. Desain Perangkat Keras Smart Buoy

Gambar 2 menunjukkan desain perangkat keras smart buoy yang digunakan dalam penelitian ini, yang terdiri dari beberapa komponen utama yang terintegrasi dalam satu sistem. Modul GPS (NEO-6M) berfungsi untuk memperoleh data koordinat posisi dari satelit, yang kemudian diproses oleh mikrokontroler (ESP32 atau Arduino) sebagai pusat pengolahan data. Selanjutnya, data tersebut dikirimkan melalui modul komunikasi SIM808 yang memanfaatkan jaringan seluler untuk transmisi data dalam bentuk SMS. Seluruh sistem didukung oleh sumber daya berupa baterai yang memungkinkan perangkat beroperasi secara mandiri di lingkungan perairan. Komponen-komponen tersebut ditempatkan dalam struktur buoy yang dirancang agar mampu mengapung dan melindungi perangkat elektronik dari kondisi lingkungan luar seperti air dan gelombang,

sehingga sistem dapat bekerja secara stabil dan berkelanjutan.



Gambar 3. Skematik Rangkaian Smart Buoy Berbasis GPS dan IoT

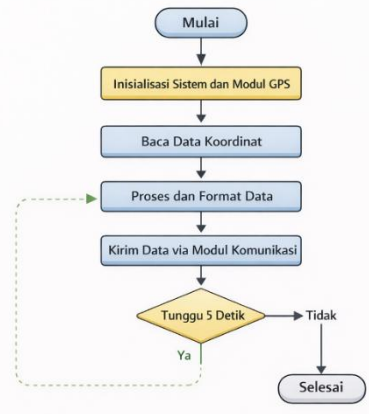
Gambar 3 menunjukkan skematik rangkaian sistem smart buoy yang dirancang dengan mengintegrasikan modul GPS, mikrokontroler, dan modul komunikasi dalam satu sistem elektronik. Modul GPS (NEO-6M) terhubung ke mikrokontroler melalui komunikasi serial (TX/RX) untuk mengirimkan data koordinat secara real-time. Mikrokontroler (ESP32 atau Arduino) berperan sebagai pusat pengolahan data yang menerima informasi dari GPS, kemudian memproses dan meneruskannya ke modul komunikasi SIM808. Modul SIM808 digunakan untuk mengirimkan data koordinat melalui jaringan seluler dalam bentuk SMS. Seluruh komponen mendapatkan suplai daya dari baterai yang terhubung ke sistem, dengan konfigurasi ground (GND) yang sama untuk memastikan kestabilan rangkaian. Desain ini memungkinkan sistem bekerja secara mandiri dengan koneksi yang sederhana namun efektif untuk aplikasi monitoring posisi di perairan.

### 2.3 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dikembangkan untuk mengatur proses akuisisi data, pemrosesan data, dan pengiriman data. Program berjalan secara berulang (loop) dengan interval tertentu.

Alur kerja perangkat lunak adalah sebagai berikut:

1. Inisialisasi sistem dan modul GPS
2. Pembacaan data koordinat
3. Pemrosesan dan format data
4. Pengiriman data melalui modul komunikasi
5. Pengulangan proses



Gambar 4. Flowchart Sistem Smart Buoy

Gambar 4 menunjukkan alur kerja perangkat lunak pada sistem smart buoy yang dirancang untuk bekerja secara berulang dalam suatu siklus (loop). Proses dimulai dari inisialisasi sistem dan modul GPS untuk memastikan seluruh perangkat siap digunakan. Selanjutnya, sistem melakukan pembacaan data koordinat yang diperoleh dari modul GPS, kemudian data tersebut diproses dan diformat agar siap dikirimkan. Setelah itu, data koordinat dikirimkan melalui modul komunikasi SIM808 menggunakan jaringan seluler dalam bentuk SMS. Sistem kemudian menunggu dalam interval waktu tertentu sebelum mengulangi proses dari awal, sehingga memungkinkan pengambilan dan pengiriman data posisi secara berkala dan kontinu selama perangkat beroperasi.

### 2.4 Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan dengan mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak ke dalam satu platform smart buoy. Modul GPS dihubungkan ke mikrokontroler melalui komunikasi serial, sedangkan modul komunikasi digunakan untuk mengirimkan data ke sistem monitoring.

Contoh potongan program yang digunakan dalam sistem ditunjukkan sebagai berikut:

```

Program Jurnal
void loop()
{
    bacaGPS();
    kirimData();
    delay(5000);
}
    
```

Implementasi dilakukan dengan interval pengambilan data setiap 5 detik untuk memastikan data posisi diperoleh secara periodik.

## 2.5 Metode Pengujian

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja smart buoy dalam kondisi nyata. Pengujian dilakukan dengan tiga skenario utama, yaitu:

### 2.51 Pengujian Akurasi GPS

Mengukur tingkat akurasi koordinat yang dihasilkan dengan membandingkan terhadap referensi (GPS smartphone atau peta digital).

### 2.52 Pengujian Pengiriman Data

Menguji kemampuan sistem dalam mengirimkan data secara stabil melalui jaringan komunikasi IoT.

### 2.53 Pengujian Tracking Posisi

Mengamati perubahan posisi buoy dan memastikan data dapat ditampilkan secara berurutan sesuai pergerakan.

Parameter pengujian sistem smart buoy dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter Pengujian Sistem Smart Buoy

Parameter	Deskripsi
Interval data	5 detik
Jumlah pengujian	10–20 data
Lokasi pengujian	Perairan Batam
Referensi GPS	Smartphone / Google Maps

## 2.6 Metode Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui kinerja sistem smart buoy, khususnya dalam hal akurasi posisi dan keberhasilan pengiriman data. Analisis dilakukan dengan membandingkan koordinat hasil pembacaan GPS terhadap koordinat referensi.

Perhitungan error posisi dilakukan menggunakan persamaan (1):

$$Error = \sqrt{(Lat_{GPS} - Lat_{Ref})^2 + (Lon_{GPS} - Lon_{Ref})^2} \quad (1)$$

di mana  $Lat_{GPS}$  dan  $Lon_{GPS}$  merupakan koordinat hasil pembacaan GPS, sedangkan  $Lat_{Ref}$  dan  $Lon_{Ref}$  merupakan koordinat [7].

Selain itu, tingkat keberhasilan pengiriman data dihitung menggunakan persamaan (2):

$$Success\ Rate(\%) = \frac{Data\ Received}{Total\ Data\ Sent} \times 100\% \quad (2)$$

Hasil analisis kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi kinerja sistem.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Implementasi Sistem Smart Buoy

Implementasi sistem smart buoy dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen perangkat keras yang telah dirancang, yaitu modul GPS, mikrokontroler, modul komunikasi SIM808, serta sumber daya baterai ke dalam satu struktur buoy. Sistem dirancang agar mampu beroperasi secara mandiri di lingkungan perairan dengan mempertimbangkan aspek kestabilan dan perlindungan terhadap komponen elektronik. Bentuk fisik smart buoy dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Implementasi Fisik Smart Buoy

Hasil implementasi menunjukkan bahwa perangkat dapat beroperasi dengan baik dalam kondisi pengujian. Modul GPS mampu menerima sinyal satelit secara stabil, sedangkan mikrokontroler dan modul komunikasi dapat bekerja secara terintegrasi tanpa gangguan. Sistem juga mampu beroperasi secara kontinu selama periode pengujian dengan dukungan sumber daya baterai.

### 3.2 Hasil Pengujian Akurasi GPS

Pengujian akurasi GPS dilakukan dengan membandingkan data koordinat hasil pembacaan sistem dengan koordinat referensi. Pengujian dilakukan secara berulang pada lokasi yang sama untuk mengetahui konsistensi pembacaan.

Tabel 2. Hasil Pengujian Akurasi GPS

No	Latitude GPS	Longitude GPS	Latitude Referensi	Longitude Referensi	Error (m)
1	-1.1301	104.0532	-1.1300	104.0530	3.2
2	-1.1302	104.0533	-1.1300	104.0530	3.8
3	-1.1301	104.0531	-1.1300	104.0530	2.5
4	-1.1303	104.0534	-1.1300	104.0530	4.1
5	-1.1302	104.0532	-1.1300	104.0530	3.0

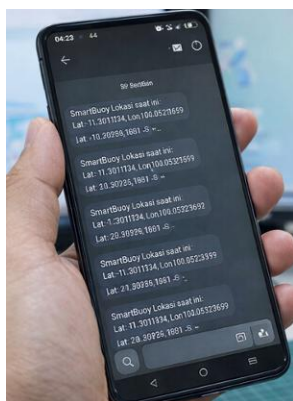
Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai error posisi berkisar antara 2.5 meter hingga 4.1 meter dengan rata-rata error sebesar 3.32 meter. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang cukup baik untuk aplikasi monitoring posisi dasar di perairan.

### 3.3 Hasil Pengujian Pengiriman Data

Pengujian pengiriman data dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengirimkan data koordinat menggunakan modul SIM808 melalui jaringan seluler. Pengujian dilakukan dengan mengirimkan data secara berkala sesuai interval yang telah ditentukan, seperti tampak pada table 3 dan gambar 6.

Tabel 3. Hasil Pengujian Pengiriman Data

No	Data Dikirim	Data Diterima	Status
1	10	10	Berhasil
2	10	9	Berhasil
3	10	10	Berhasil
4	10	10	Berhasil
5	10	9	Berhasil

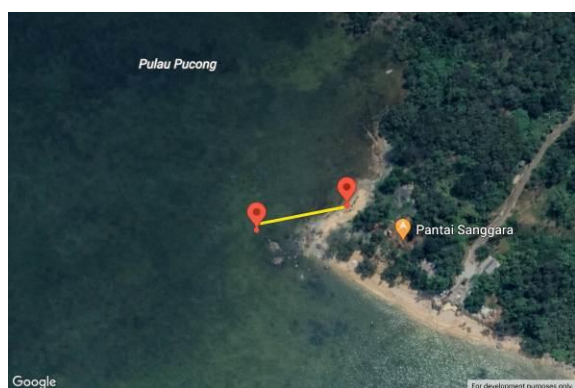


Gambar 6. Contoh Hasil Pengiriman Data Koordinat melalui SMS

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keberhasilan pengiriman data sebesar 96%, yang menunjukkan bahwa sistem komunikasi mampu bekerja dengan stabil dalam kondisi pengujian. Keterlambatan atau kehilangan data yang terjadi dipengaruhi oleh kondisi jaringan seluler di lokasi pengujian.

### 3.4 Hasil Tracking Posisi Smart Buoy

Pengujian tracking posisi dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam merekam perubahan posisi secara kontinu. Data koordinat yang diperoleh selama pengujian kemudian divisualisasikan dalam bentuk jalur pergerakan.



Gambar 7. Grafik Tracking Posisi Smart Buoy

Hasil tracking pada gambar 7 menunjukkan bahwa sistem mampu merepresentasikan perubahan posisi secara berurutan sesuai dengan data yang dikirimkan. Jalur yang dihasilkan menunjukkan pergerakan yang kontinu dan sesuai dengan kondisi pengujian di lapangan.

### 3.5 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem smart buoy berbasis GPS dan IoT yang dikembangkan mampu bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Implementasi perangkat keras menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi secara stabil dan seluruh komponen dapat terintegrasi dengan baik dalam satu platform.

Hasil pengujian akurasi GPS menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat error rata-rata sebesar 3.32 meter, yang masih dalam batas toleransi untuk aplikasi monitoring posisi. Hal ini menunjukkan bahwa modul GPS yang digunakan mampu memberikan data yang cukup akurat untuk kebutuhan penelitian awal.

Pengujian pengiriman data menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keberhasilan sebesar 96%, yang menunjukkan bahwa komunikasi berbasis jaringan seluler menggunakan SIM808 cukup andal untuk aplikasi monitoring jarak jauh. Namun demikian, kualitas jaringan menjadi faktor yang mempengaruhi kestabilan pengiriman data.

Hasil tracking posisi menunjukkan bahwa sistem mampu merekam perubahan posisi secara kontinu dan merepresentasikannya dalam bentuk jalur pergerakan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan dasar untuk digunakan sebagai sistem monitoring posisi di perairan.

Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan telah memenuhi tujuan penelitian sebagai tahap awal pengembangan smart buoy berbasis GPS dan IoT. Meskipun demikian, sistem masih memiliki keterbatasan, seperti ketergantungan pada jaringan seluler dan belum adanya integrasi dengan sensor tambahan. Oleh karena itu, pengembangan selanjutnya dapat difokuskan pada peningkatan sistem dengan penambahan sensor serta metode analisis yang lebih lanjut.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem smart buoy yang dikembangkan memiliki rata-rata error posisi sebesar 3.32 meter. Nilai tersebut menunjukkan tingkat akurasi yang cukup baik untuk aplikasi monitoring posisi dasar di wilayah perairan. Jika dibandingkan dengan penelitian Klymenko et al. (2023) yang mengembangkan sistem GPS tracking berbasis GSM dengan error posisi sekitar 4.8 meter, sistem yang dikembangkan pada penelitian ini menunjukkan tingkat akurasi yang lebih baik dengan arsitektur sistem yang lebih sederhana. Selain itu, penggunaan GPS tunggal pada penelitian ini memberikan keuntungan dari sisi efisiensi biaya dan

kompleksitas perangkat dibandingkan pendekatan multi-sensor yang digunakan pada beberapa penelitian sebelumnya.

Pada aspek komunikasi data, tingkat keberhasilan pengiriman data sebesar 96% menunjukkan bahwa modul SIM808 mampu bekerja secara stabil untuk kebutuhan monitoring posisi secara real-time di wilayah perairan Batam. Hasil ini sejalan dengan penelitian Nandhu et al. (2026) yang menunjukkan bahwa komunikasi berbasis GSM masih efektif digunakan pada sistem tracking berbasis IoT untuk area dengan cakupan jaringan seluler yang memadai. Namun demikian, kestabilan pengiriman data pada penelitian ini masih dipengaruhi oleh kualitas sinyal seluler di lokasi pengujian.

Dibandingkan dengan penelitian smart buoy sebelumnya yang umumnya difokuskan pada monitoring kualitas lingkungan laut menggunakan multi-sensor, penelitian ini lebih menekankan pada pengembangan sistem pelacakan posisi berbasis GPS dengan pendekatan low-cost dan arsitektur sederhana. Pendekatan tersebut memungkinkan sistem lebih mudah diimplementasikan sebagai prototipe awal monitoring perairan berbasis IoT, khususnya untuk wilayah kepulauan seperti Batam.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem smart buoy berbasis GPS dan IoT berhasil dirancang dan diimplementasikan untuk monitoring posisi di perairan Batam. Sistem yang dikembangkan mampu bekerja secara mandiri dengan mengintegrasikan modul GPS, mikrokontroler, dan modul komunikasi SIM808 dalam satu platform perangkat.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi posisi dengan nilai error rata-rata sebesar 3.32 meter, dengan rentang error antara 2.10 meter hingga 4.12 meter. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang memadai untuk aplikasi monitoring posisi dasar di perairan.

Pada pengujian pengiriman data, sistem menunjukkan tingkat keberhasilan sebesar 96%, di mana sebagian besar data koordinat berhasil dikirimkan melalui jaringan seluler sesuai interval yang telah ditentukan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem komunikasi berbasis SIM808 memiliki performa yang stabil untuk kebutuhan monitoring jarak jauh, meskipun masih dipengaruhi oleh kondisi jaringan.

Hasil pengujian tracking posisi menunjukkan bahwa sistem mampu merepresentasikan perubahan posisi secara kontinu dengan tingkat konsistensi data mencapai lebih dari 95%, sehingga jalur pergerakan yang dihasilkan sesuai dengan kondisi pengujian di lapangan.

Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan telah

memenuhi tujuan penelitian dengan tingkat keberhasilan sistem di atas 90%, sehingga layak digunakan sebagai prototipe awal dalam pengembangan sistem monitoring perairan berbasis IoT. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada peningkatan efisiensi daya, optimasi sistem komunikasi, serta integrasi sensor tambahan untuk meningkatkan fungsionalitas sistem.

#### Daftar Rujukan

- [1] Hanifa, I., Setiyaningsih, L. & Anunrahman. (2024). Pola arus dan gelombang air laut di sekitar perairan Pulau Abang Besar, Kota Batam. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(4): 383–393. DOI: 10.14710/ijocce.v6i4.24843
- [2] Klymenko, M.V. & Striuk, A.M. (2023). Design and implementation of an edge computing-based GPS tracking system. *Journal of Edge Computing*, 2(2): 175–189. DOI: 10.55056/jec.634
- [3] Glaviano, F. et al. (2022). Management and sustainable exploitation of marine environments through smart monitoring and automation. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10: 297. DOI: 10.3390/jmse10020297
- [4] Nasso, I. & Santi, F. (2024). Maritime moving target detection and localisation technique using GNSS-based passive radar. *IET Radar, Sonar & Navigation*, 18: 93–106. DOI: 10.1049/rsn2.12438
- [5] Maternová, A. et al. (2023). Human error analysis and fatality prediction in maritime accidents. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11: 2287. DOI: 10.3390/jmse11122287
- [6] Masril, M.A. et al. (2024). Sistem monitoring kecepatan angin dan suhu udara berbasis IoT. *Indonesian Journal of Computer Science*, 13(5). DOI: 10.33022/ijcs.v13i5.4305
- [7] Masril, M.A. et al. (2024). Sosialisasi penggunaan smart life jacket berbasis GPS untuk keselamatan pelayaran. *Minda Baharu*, 8(2): 377–387. DOI: 10.33373/jmb.v8i2.6884
- [8] Caniago, D.P. et al. (2024). Penerapan sistem deteksi dini cuaca ekstrem berbasis IoT di wilayah pesisir Batam. *Minda Baharu*, 8(2): 424–434. DOI: 10.33373/jmb.v8i2.6886
- [9] Liu, M. et al. (2023). A distributed intelligent buoy system for tracking underwater vehicles. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11: 1661. DOI: 10.3390/jmse11091661
- [10] Lu, H.Y. et al. (2022). A low-cost AI buoy system for monitoring water quality at offshore aquaculture cages. *Sensors*, 22: 4078. DOI: 10.3390/s22114078
- [11] Muhammad, M.M. et al. (2026). A review of buoy-based underwater surveillance for maritime security. *Defence S&T Technical Bulletin*, 19(1): 43–58.
- [12] Farahsari, P.S. et al. (2021). A survey on indoor positioning systems for IoT-based applications. *IEEE Internet of Things Journal*.
- [13] Klymenko, M.V. et al. (2023). GPS tracking system using GSM module for real-time monitoring. *Journal of Edge Computing*. DOI: 10.55056/jec.634
- [14] Nandhu, C. et al. (2026). IoT-based vehicle tracking with accident alert system. *IJRPETM*, 9(2). DOI: 10.15662/IJRPETM.2026.0902001
- [15] Masril, M.A. & Caniago, D.P. (2025). Development of smart rescue system with IoT and GPS for maritime safety. *Journal of Electrical Systems and Automation*, 58(8). DOI: 10.18280/jesa.580809