

# Rancang Bangun dan Evaluasi Sistem Pelacakan Lokasi Antarpendaki Berbasis LoRa dengan Aplikasi Android Tanpa Koneksi Internet

Isa Mahfudi<sup>\*1</sup>, Delila Lukisani Tungga Dewi<sup>2</sup>, Hadiwiyatno<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Malang, 65145, Indonesia

\*Corresponding Author: isa\_mahfudi@polinema.ac.id

## Riwayat Artikel

Diserahkan: 24 Oktober 2025

Direvisi: 28 November 2025

Diterima: 28 November 2025

Dipublikasi: 30 November 2025

## Abstrak

Aktivitas pendakian gunung di Indonesia terus meningkat, namun keterbatasan sinyal seluler di wilayah pegunungan sering menjadi kendala utama dalam komunikasi dan pemantauan keselamatan pendaki. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pelacakan lokasi antarpendaki berbasis LoRa dan aplikasi Android tanpa koneksi internet. Sistem terdiri dari node berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan modul GPS SIM808 dan modul LoRa Ebyte E220-900T22D untuk transmisi data posisi antarperangkat. Data koordinat dikirim melalui jaringan peer-to-peer (P2P) LoRa dan ditampilkan secara real-time pada aplikasi Android menggunakan peta offline OpenStreetMap. Metode penelitian menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) dengan tahap perancangan, implementasi, dan pengujian fungsional di area terbuka. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki deviasi akurasi GPS rata-rata 6–7 meter, jangkauan komunikasi LoRa mencapai 500 meter (LOS) dan 350 meter (NLOS), serta delay komunikasi Bluetooth rata-rata 990 ms. Sistem ini terbukti mampu menampilkan posisi antarpendaki secara hampir real-time tanpa jaringan internet, sehingga dapat meningkatkan keselamatan dan koordinasi antarpendaki di area minim sinyal.

**Kata kunci:** Android, ESP32, GPS SIM808, LoRa, pelacakan lokasi, tanpa internet.

## Abstract

*Mountain hiking activities in Indonesia continue to grow, yet limited cellular network coverage in mountainous areas remains a major challenge for communication and hiker safety monitoring. This study aims to design and implement a LoRa-based hiker location tracking system integrated with an Android application operating without an internet connection. The system consists of ESP32-based nodes integrated with GPS SIM808 and LoRa Ebyte E220-900T22D modules for transmitting positional data between devices. The coordinates are exchanged via a peer-to-peer (P2P) LoRa network and displayed in real-time on an Android application using offline OpenStreetMap. The research employed a Research and Development (R&D) approach through stages of system design, implementation, and functional testing in open-field conditions. Experimental results show that the system achieved an average GPS accuracy deviation of 6–7 meters, LoRa communication range of up to 500 meters (LOS) and 350 meters (NLOS), and an average Bluetooth communication delay of 990 ms. The findings demonstrate that the proposed system can effectively display inter-hiker positions in near real-time without internet connectivity, enhancing safety and coordination among hikers in signal-limited environments.*

**Keywords:** Android, ESP32, GPS SIM808, LoRa, location tracking, offline

## 1. Pendahuluan

Aktivitas pendakian gunung dan wisata alam di Indonesia semakin populer seiring meningkatnya minat masyarakat terhadap kegiatan luar ruang. Indonesia memiliki kekayaan ekosistem dan bentang alam yang luas, meliputi pegunungan, hutan tropis, dan kawasan konservasi yang menjadi daya tarik wisata unggulan. Berdasarkan laporan Direktorat Jenderal Konservasi Sumber Daya Alam dan Ekosistem (Ditjen KSDAE) – Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), jumlah kunjungan wisatawan ke kawasan konservasi menunjukkan pemulihan signifikan pascapandemi, meningkat dari sekitar 3,3 juta pada 2020 menjadi lebih dari 6 juta pengunjung pada 2023 [1].

Meskipun demikian, meningkatnya aktivitas pendakian juga diikuti dengan meningkatnya risiko keselamatan. Belum terdapat rekapitulasi nasional yang komprehensif mengenai jumlah pendaki gunung yang meninggal dunia atau tersesat di Indonesia, namun berbagai laporan resmi dari pengelola kawasan dan instansi penyelamat menunjukkan bahwa risiko keselamatan pendaki masih tinggi. Balai Taman Nasional Gunung Rinjani (TNGR) mencatat sebanyak 104 kasus kecelakaan dan evakuasi pendaki selama periode 2016–2020, dengan penyebab dominan berupa terjatuh, kelelahan, sakit, dan tersesat[2]. Di wilayah Jawa Barat, Basarnas Jakarta melaporkan 16 pendaki Gunung Gede Pangrango yang tersesat pada Januari 2024 berhasil ditemukan selamat setelah dilakukan operasi SAR gabungan[3]. Fakta-fakta tersebut menegaskan bahwa aktivitas pendakian di Indonesia masih memiliki potensi bahaya tinggi, terutama akibat kondisi cuaca ekstrem, faktor kelelahan fisik, serta minimnya sistem komunikasi di area tanpa sinyal.

Kendala utama dalam upaya pencarian dan komunikasi di wilayah pegunungan adalah tidak tersedianya sinyal seluler atau internet. Sistem berbasis jaringan seluler seperti GPS tracker

Rancang Bangun dan Evaluasi Sistem Pelacaka...

komersial atau aplikasi daring sering kali tidak dapat berfungsi optimal di medan pegunungan. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem komunikasi alternatif yang dapat beroperasi secara mandiri tanpa infrastruktur jaringan, namun tetap mampu menampilkan posisi pendaki secara *real-time*.

Salah satu teknologi yang berpotensi besar untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah LoRa (Long Range)[4][5][6][7][8][9][10], yaitu teknologi komunikasi nirkabel berdaya rendah (*Low Power Wide Area Network* – LPWAN)[11][12][13][14] yang mampu mentransmisikan data jarak jauh dengan konsumsi daya sangat rendah. Teknologi ini banyak diterapkan dalam aplikasi *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan lingkungan, pelacakan aset, dan sistem komunikasi di area terpencil[15][16][17][18][19].

Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan teknologi LoRa untuk sistem pelacakan dalam konteks pendakian gunung dan keselamatan di area tanpa sinyal[20][21][22][19][23]. Muladi et al. (2024) mengembangkan *LoRa Mesh-Based IoT GPS Tracking System for Mountain Climbers* yang dirancang untuk komunikasi antarpendaki tanpa infrastruktur seluler. Sistem tersebut menggunakan arsitektur mesh LoRa yang memungkinkan transmisi data antar node pendaki secara langsung (*peer-to-peer*) dengan jangkauan mencapai 1 km pada kondisi Line-of-Sight (LoS) dan 500 m pada Non-Line-of-Sight (NLoS)[24]. Meskipun sistem ini telah berhasil menunjukkan kinerja stabil untuk pengiriman data koordinat GPS antar perangkat, penelitian tersebut belum dilengkapi dengan tampilan visual koordinat pendaki secara langsung melalui aplikasi Android. Selanjutnya, Sharma et al. (2023) mengusulkan *LoRa-Based IoT System for Emergency Assistance and Safety in Mountaineering* yang berfokus pada pengiriman sinyal darurat dan pemantauan posisi pendaki secara offline[25]. Sistem ini menggabungkan modul GPS, sensor darurat, dan komunikasi

LoRa untuk mendukung keselamatan pendaki dalam kondisi tanpa sinyal seluler. Namun, penelitian ini belum menekankan aspek visualisasi data posisi antarpendaki dalam satu grup secara *real-time* di aplikasi Android.

Sementara itu, Bianco et al. (2020) dalam penelitiannya berjudul LoRa System for Search and Rescue: Path Loss Models and Procedures in Mountain Scenarios mengembangkan sistem komunikasi Search and Rescue (SaR) berbasis LoRa LPWAN untuk pencarian orang hilang di area pegunungan bersalju[19]. Hasil pengujian menunjukkan bahwa LoRa mampu menjaga komunikasi hingga 300–332 meter pada berbagai kondisi medan ekstrem, dengan jangkauan sekitar lima kali lebih jauh dibanding perangkat pelacak konvensional. Sistem ini juga menerapkan algoritma estimasi posisi berbasis path loss untuk menentukan lokasi korban dengan tingkat akurasi beberapa meter. Namun, sistem tersebut masih bergantung pada pusat kendali untuk memproses data lokasi dan belum mendukung komunikasi langsung antar pengguna melalui aplikasi mobile.

Penelitian terbaru oleh Pamungkas et al. (2024) pada Bridge: Jurnal Publikasi Sistem Informasi dan Telekomunikasi mengembangkan sistem monitoring pendaki gunung berbasis GPS dan LoRa dengan pendekatan Agile-Scrum [26]. Fokus utama penelitian ini adalah optimalisasi antarmuka pengguna (User Experience/UX) dalam menampilkan data lokasi pendaki, meskipun sistemnya masih menggunakan arsitektur client-server yang memerlukan koneksi jaringan lokal.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa teknologi LoRa telah terbukti efektif untuk komunikasi di wilayah minim sinyal. Namun, sebagian besar sistem masih memiliki keterbatasan dalam integrasi penuh antara modul LoRa dan aplikasi Android untuk visualisasi posisi pendaki secara *real-time* tanpa internet. Hal ini menunjukkan adanya *research gap* yang perlu diatasi melalui

Rancang Bangun dan Evaluasi Sistem Pelacaka...

pengembangan sistem pelacakan yang benar-benar dapat bekerja secara mandiri di lingkungan tanpa jaringan.

Novelty penelitian ini terletak pada integrasi penuh antara modul LoRa-GPS dan aplikasi Android yang dapat beroperasi tanpa koneksi internet maupun server pusat, melalui mekanisme komunikasi *peer-to-peer* (P2P) untuk menampilkan posisi pendaki secara *real-time* pada peta *offline*. Berbeda dari penelitian sebelumnya yang masih bergantung pada arsitektur mesh, server lokal, atau belum menyediakan visualisasi posisi antarpendaki di aplikasi Android, penelitian ini menawarkan kemampuan pemantauan langsung antarperangkat secara mandiri di lingkungan minim sinyal.

Penelitian ini bertujuan untuk (1) merancang dan membangun perangkat pelacak berbasis LoRa-GPS yang dapat digunakan antarpendaki tanpa infrastruktur jaringan, (2) mengembangkan aplikasi Android yang mampu menampilkan posisi pendaki secara real-time pada peta offline, dan (3) mengevaluasi performa sistem melalui pengujian akurasi GPS, RSSI, *Packet Delivery Ratio* (PDR), dan *delay* komunikasi pada berbagai kondisi medan.

## 2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen rekayasa sistem dengan metode research and development (R&D) untuk merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem pelacakan lokasi antarpendaki menggunakan modul LoRa dan aplikasi Android tanpa koneksi internet. Proses penelitian meliputi beberapa tahapan, yaitu:

- a. Analisis kebutuhan sistem.
- b. Perancangan arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak.
- c. Implementasi sistem komunikasi LoRa-Android.
- d. Pengujian fungsional dan kinerja sistem di lingkungan pegunungan terbuka.

e. Analisis hasil dan evaluasi performa.

## 2.1 Arsitektur Sistem

Sistem terdiri atas dua komponen utama, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak (aplikasi Android) yang saling terhubung melalui jaringan komunikasi LoRa. Masing-masing pendaki membawa satu unit perangkat yang berfungsi sebagai node independen. Konsep utama sistem ini adalah membentuk jaringan komunikasi peer-to-peer (P2P) antarpendaki, sehingga setiap node dapat mengirimkan dan menerima data posisi secara langsung tanpa melalui server pusat. Data lokasi yang diterima akan ditampilkan secara visual pada peta offline di aplikasi Android, sehingga pengguna dapat mengetahui posisi anggota kelompok lainnya secara real-time meskipun berada di area tanpa sinyal. Untuk menggambarkan konsep kerja sistem dan hubungan antar komponen secara umum, ilustrasi arsitektur sistem komunikasi antarpendaki ditunjukkan pada Gambar 1.

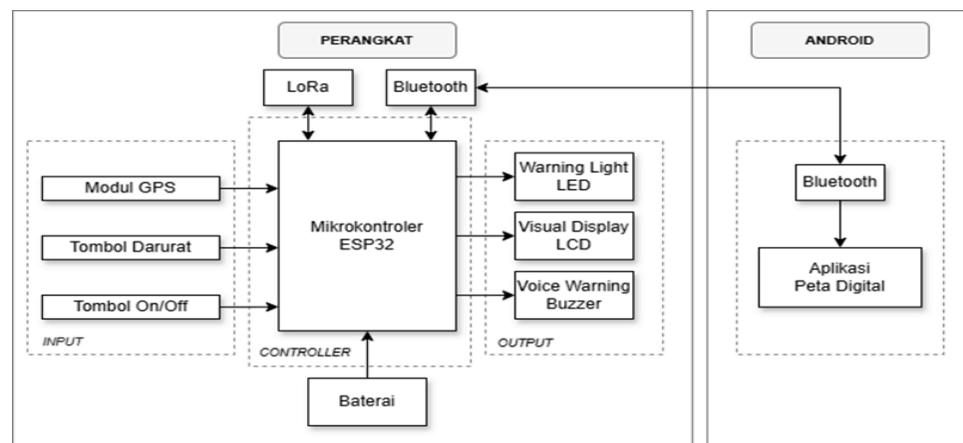


**Gambar 1.** Ilustrasi sistem komunikasi antarpendaki yang diusulkan.

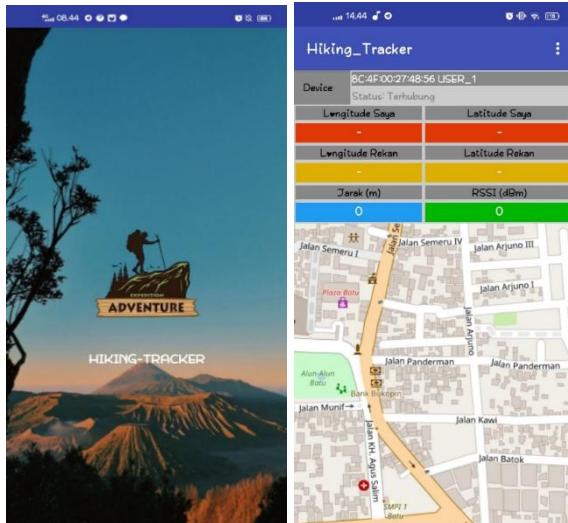
Rancang Bangun dan Evaluasi Sistem Pelacaka...

Setiap perangkat node LoRa dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama. Mikrokontroler ini berfungsi mengintegrasikan berbagai komponen input dan output, seperti modul GPS SIM808 untuk menentukan posisi geografis, tombol darurat untuk mengirim sinyal bahaya ke pendek lain serta tombol daya (On/Off) untuk pengaktifan sistem. Data lokasi yang diperoleh dikirimkan melalui modul LoRa EByte E220 900T22D kepada node lain dalam jaringan, dan pada saat bersamaan juga dikomunikasikan ke aplikasi Android melalui Bluetooth.

Aplikasi Android yang dikembangkan berfungsi sebagai antarmuka visual sistem pelacakan. Aplikasi menampilkan beberapa informasi utama, yaitu koordinat pengguna (*latitude* dan *longitude*), koordinat rekan pendaki, jarak antarpendaki (dalam meter), dan kekuatan sinyal LoRa (RSSI dalam dBm). Selain itu, peta digital yang digunakan merupakan peta offline berbasis OpenStreetMap, sehingga tetap dapat diakses meskipun tanpa koneksi internet. Dengan demikian, pengguna dapat memantau posisi rekan pendaki secara real-time dan memastikan jangkauan komunikasi masih berada dalam batas efektif. Untuk menggambarkan struktur hubungan antar komponen sistem, arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak ditunjukkan pada Gambar 2. Sementara itu, tampilan antarmuka aplikasi Android hasil implementasi sistem diperlihatkan pada Gambar 3.



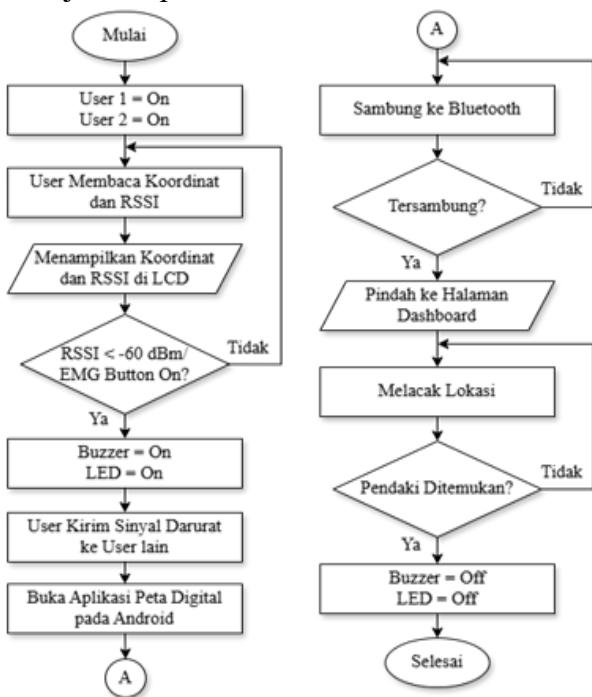
**Gambar 2.** Diagram blok arsitektur sistem pelacakan lokasi antar pendaki berbasis LoRa dan aplikasi Android.



Gambar 3. Tampilan antarmuka aplikasi Hiking Tracker pada perangkat Android.

## 2.2 Perancangan dan Implementasi Sistem

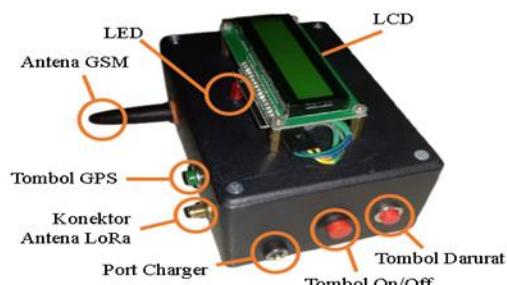
Setelah dilakukan perancangan arsitektur sistem secara keseluruhan, tahap selanjutnya adalah menjabarkan alur kerja sistem yang direalisasikan dalam bentuk flowchart yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Alur dari mekanisme kerja sistem

Berdasarkan Gambar 4, proses dimulai ketika kedua perangkat pengguna (User 1 dan User 2) diaktifkan. Masing-masing perangkat akan membaca data koordinat lokasi dari modul GPS dan nilai kekuatan sinyal *Received Signal Strength Indicator* (RSSI). Data tersebut kemudian ditampilkan pada LCD dan dikirim ke

perangkat lain melalui modul komunikasi LoRa. Jika sistem mendeteksi kondisi darurat, baik karena tombol darurat ditekan atau dari nilai RSSI yang menunjukkan jarak terlalu jauh (di bawah ambang yang ditentukan), maka buzzer dan LED akan menyala sebagai peringatan visual dan suara. Selain itu, sinyal darurat dikirimkan ke perangkat lain dan dapat ditampilkan pada aplikasi peta digital di Android, yang terhubung melalui Bluetooth. Bentuk dari sistem yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 5, yang menampilkan posisi pada setiap komponen utama yang digunakan.



Gambar 5. Bentuk sistem perangkat pelacak pendaki

## 2.3 Kriteria Penilaian Kinerja Sistem

Untuk memastikan bahwa evaluasi performa sistem dilakukan secara konsisten dan dapat direplikasi, penelitian ini menetapkan sejumlah kriteria penilaian yang mengacu pada karakteristik teknis LoRa dan studi-studi sebelumnya [11][19][25][27]. Kriteria evaluasi performa ini ditunjukkan pada Tabel 1

**Tabel 1.** Kriteria Evaluasi Performa Sistem Komunikasi

Parameter	Kategori	Rentang Nilai	Acuan Literatur / Keterangan
RSSI (dBm)	Baik / kuat	$\geq -90$ dBm	Komunikasi sangat stabil
	Cukup / sedang	-90 hingga -105 dBm	Performa mulai menurun
	Buruk / lemah	$< -105$ dBm	Mendekati batas sensitivitas LoRa
PDR (%)	Sangat baik / stabil	$\geq 90\%$	Tingkat keberhasilan tinggi
	Baik	80–90%	Beberapa paket hilang tetapi masih dapat digunakan
	Buruk / tidak stabil	$< 80\%$	Komunikasi tidak dapat diandalkan
Delay (ms)	Rendah / responsif	$< 1000$ ms	Umumnya dilaporkan pada LoRa P2P
	Sedang	1000–2000 ms	Kualitas menurun secara signifikan
	Tinggi / buruk	$> 2000$ ms	Komunikasi tidak responsif (latensi tinggi)

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada tahap ini disajikan hasil evaluasi kinerja sistem secara fungsional dan teknis, meliputi akurasi lokasi, kekuatan sinyal (RSSI), tingkat keberhasilan pengiriman paket (PDR), serta waktu tunda komunikasi (delay) antarperangkat pendaki.

#### 3.1. Hasil Pengujian Akurasi GPS

Pengujian akurasi GPS dilakukan untuk mengetahui sejauh mana ketepatan modul GPS SIM808 dalam menentukan koordinat lokasi pengguna. Untuk mengetahui tingkat akurasi pembacaan koordinat, dilakukan perbandingan

antara data posisi yang diperoleh dari modul GPS SIM808 dengan data referensi Google Maps. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Nilai deviasi posisi dihitung berdasarkan jarak antara dua titik koordinat (koordinat hasil pengukuran dan koordinat acuan) menggunakan Rumus Haversine. Rumus ini banyak digunakan dalam berbagai penelitian berbasis sistem pelacakan dan pemetaan untuk menghitung jarak permukaan bumi antara dua titik lintang dan bujur yang ditunjukkan pada Persamaan (1) [28].

$$d = 2r \arcsin \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2 \left( \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right) \quad (1)$$

Keterangan:

- $\phi_1, \phi_2$  : latitude titik 1 dan 2 (dalam radian)
- $\lambda_1, \lambda_2$  : longitude titik 1 dan 2 (dalam radian)
- $r$  : jari-jari bumi rata-rata (6371 km)
- $d$  : jarak antara dua titik

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Akurasi Koordinat GPS

Pengguna	Titik Acuan (Google Maps)	Koordinat Hasil GPS	Selisih (m)
User 1	-7.8072, 110.3648	-7.8071, 110.3649	7.61 m
User 2	-7.8075, 110.3650	-7.8076, 110.3651	6.07 m

Berdasarkan Tabel 2, hasil perhitungan menggunakan rumus Haversine, diperoleh deviasi rata-rata sebesar 6–7 meter antara hasil pembacaan koordinat modul GPS SIM808 dengan titik acuan Google Maps. Nilai ini masih berada dalam batas toleransi akurasi untuk modul GPS kelas menengah, yang umumnya memiliki kesalahan  $\pm 10$  meter pada kondisi terbaik. Perbedaan koordinat tersebut disebabkan oleh keterbatasan sensitivitas antena GPS serta faktor lingkungan seperti keberadaan pepohonan atau bangunan di sekitar lokasi uji. Meskipun demikian, hasil ini menunjukkan bahwa sistem pelacakan lokasi antarpendaki dapat menampilkan posisi secara cukup akurat

tanpa memerlukan koneksi internet, karena proses penentuan posisi dilakukan secara mandiri oleh modul GPS. Akurasi tersebut sudah mencukupi untuk kebutuhan pencarian dan pemantauan posisi antarpendaki, di mana deviasi kurang dari 10 meter dianggap tidak mengganggu representasi visual posisi pada peta digital aplikasi Android.

### 3.2. Hasil Pengujian RSSI (LOS)

Pada Pengujian RSSI dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan modul LoRa Ebyte E220-900T22D dalam menjaga kualitas komunikasi antarperangkat pelacak pada kondisi *Line of Sight* (LOS), yaitu ketika tidak

Rancang Bangun dan Evaluasi Sistem Pelacaka...

terdapat hambatan fisik antara dua node komunikasi. ada tahap pengujian, dua perangkat pelacak dioperasikan dengan satu perangkat berperan sebagai transmitter dan perangkat lain sebagai receiver. Kedua perangkat diletakkan pada posisi sejajar di area terbuka dengan variasi jarak pengujian mulai dari 10 meter hingga 280 meter. Modul LoRa E220-900T22D dikonfigurasikan pada frekuensi kerja 915 MHz dengan daya pemanca 22 dBm dan laju data (data rate) 2.4 kbps. Pengukuran dilakukan untuk mencatat nilai RSSI yang diterima pada setiap jarak. Hasil pengujian kekuatan sinyal LoRa pada kondisi LOS ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Kekuatan Sinyal LoRa E220-900T22D pada Kondisi LOS

Jarak (m)	RSSI (dBm)	PDR (%)	Delay (ms)	Keterangan
10	-79	100	820	Sinyal sangat kuat, komunikasi sangat stabil
100	-80	97	980	Sinyal kuat, tidak ada kehilangan paket
180	-82	94	1250	Sinyal mulai menurun, komunikasi lancar
280	-83	90	1510	Sinyal cukup kuat, sedikit peningkatan delay
350	-86	86	1690	Sinyal mulai melemah, masih dalam batas stabil
420	-95	80	1880	Sinyal lemah, komunikasi mulai tidak stabil
500	-103	72	2210	Sinyal sangat lemah, paket hilang namun komunikasi masih berlangsung sesekali

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3, sistem komunikasi LoRa Ebyte E220-900T22D pada kondisi LOS menunjukkan jangkauan stabil hingga 350 meter, ditandai dengan nilai RSSI antara -79 hingga -86 dBm, PDR  $\geq 85\%$ , dan delay kurang dari 1,7 detik. Pada rentang ini, kualitas sinyal masih kuat sehingga komunikasi antarperangkat berlangsung lancar tanpa kehilangan paket yang signifikan. Mulai jarak 420 meter, kualitas sinyal menurun menjadi -95 dBm dengan PDR 80%, sehingga komunikasi mulai kurang stabil. Pada jarak maksimum 500 meter, nilai RSSI mencapai -103 dBm dengan PDR 72% dan delay meningkat menjadi 2,2 detik. Meskipun kondisinya tidak lagi stabil, sistem masih mampu melakukan komunikasi secara terbatas sehingga jarak tersebut dapat dikategorikan

sebagai jangkauan maksimum di mana komunikasi masih dapat berlangsung.

### 3.3. Hasil Pengujian RSSI (NLOS)

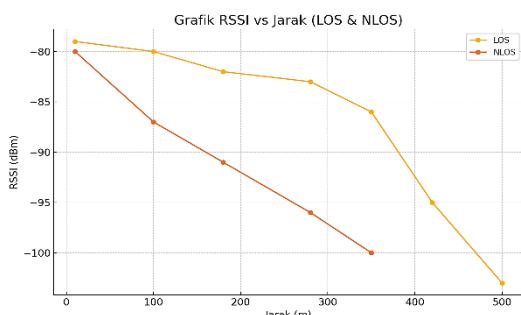
Pada tahap ini dilakukan pengujian RSSI pada kondisi *Non-Line of Sight* (NLOS) untuk mensimulasikan situasi nyata di lingkungan pendakian gunung, di mana terdapat hambatan berupa vegetasi, bebatuan, atau kontur tanah yang dapat memengaruhi kualitas sinyal. Pada pengujian ini, dua perangkat pelacak ditempatkan pada ketinggian dan arah yang sama, namun dipisahkan oleh halangan alami seperti pepohonan dan gundukan tanah. Frekuensi operasi LoRa tetap dipertahankan pada 915 MHz dengan daya pemanca 22 dBm, agar hasil pengujian dapat dibandingkan langsung dengan kondisi LOS sebelumnya. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Nilai RSSI pada Kondisi Non-Line of Sight (NLOS)

Jarak (m)	RSSI (dBm)	PDR (%)	Delay (ms)	Keterangan
10	-80	100	940	Sinyal kuat, komunikasi stabil
100	-87	94	1120	Sinyal menurun karena hambatan vegetasi ringan
180	-91	89	1310	Sinyal mulai melemah, komunikasi masih lancar
280	-96	82	1490	Sinyal melemah, mulai terjadi kehilangan paket
350	-100	76	1720	Komunikasi tidak stabil, delay meningkat
420	-	-	-	Komunikasi sulit, paket gagal diterima
500	-	-	-	Komunikasi sulit, paket gagal diterima

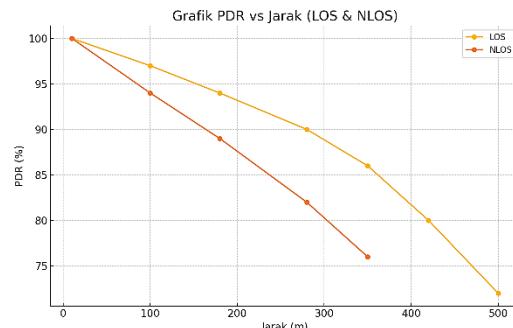
Berdasarkan data pada Tabel 4, pengujian menunjukkan bahwa kualitas komunikasi LoRa Ebyte E220-900T22D mengalami penurunan signifikan pada kondisi NLOS akibat hambatan seperti vegetasi, pepohonan, dan kontur tanah yang menyebabkan redaman sinyal dan multipath fading. Pada jarak 10–180 meter, sistem masih berfungsi baik dengan nilai RSSI antara -80 hingga -91 dBm, PDR di atas 85%, dan delay kurang dari 1,5 detik, sehingga komunikasi tetap stabil untuk pelacakan antarpendaki. Pada jarak 280–350 meter, sinyal mulai melemah dengan RSSI -96 hingga -100 dBm, disertai peningkatan delay dan penurunan PDR hingga 76%, menandakan komunikasi mulai tidak stabil. Sementara itu, pada jarak di atas 400 meter, komunikasi antar node gagal sepenuhnya karena sinyal berada di bawah ambang sensitivitas penerima LoRa, sehingga seluruh paket data tidak dapat diterima akibat redaman dan gangguan lingkungan.

Untuk memperjelas pola penurunan RSSI terhadap jarak, visualisasi hubungan jarak dan RSSI ditampilkan pada Gambar 6.

**Gambar 6.** Grafik RSSI vs Jarak pada Kondisi LOS & NLOS

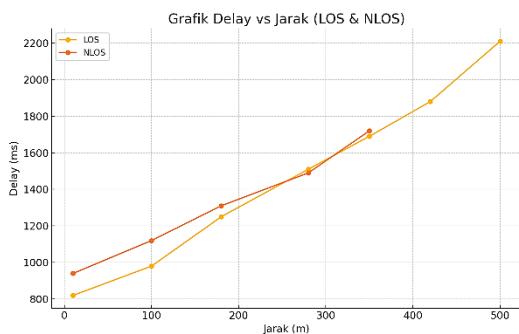
Grafik menunjukkan bahwa penurunan RSSI pada kondisi NLOS jauh lebih tajam dibandingkan LOS, khususnya pada jarak > 180 meter. Hal ini disebabkan oleh hambatan fisik yang meningkatkan redaman dan multipath fading.

PDR merupakan indikator penting untuk menilai reliabilitas pengiriman data antarpendaki. Hubungan antara jarak dan PDR pada kedua kondisi ditunjukkan pada Gambar 7.

**Gambar 7.** Grafik PDR vs Jarak pada Kondisi LOS & NLOS

Pada kondisi LOS, PDR tetap stabil ( $\geq 85\%$ ) hingga jarak 350 meter. Pada kondisi NLOS, stabilitas PDR berada pada rentang 180–280 meter. Penurunan PDR pada NLOS mengikuti pola penurunan RSSI pada Gambar 6, menunjukkan bahwa hambatan vegetasi dan topografi sangat memengaruhi tingkat keberhasilan transmisi paket.

Untuk mengetahui dampak jarak terhadap waktu tunda komunikasi, nilai delay pada kondisi LOS dan NLOS diperlihatkan pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Grafik Delay vs Jarak pada Kondisi LOS & NLOS

Delay meningkat secara bertahap seiring bertambahnya jarak pada kedua kondisi. Kenaikan delay pada kondisi NLOS lebih signifikan karena penurunan kualitas sinyal dan menurunnya PDR. Pada jarak di atas 350 meter, delay pada kondisi NLOS menjadi tidak stabil dan mendekati batas kemampuan LoRa untuk mempertahankan komunikasi.

### 3.4. Hasil Pengujian Delay komunikasi pada Aplikasi Android via Bluetooth

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja komunikasi antara sistem yang terintegrasi mikrokontroler ESP32 dengan aplikasi Android melalui koneksi Bluetooth. Pengujian dilakukan dengan mengirimkan sejumlah data koordinat dari ESP32 ke aplikasi Android pada berbagai jarak koneksi Bluetooth, yaitu 1 meter hingga 10 meter, guna mengetahui pengaruh jarak terhadap ketabilan komunikasi dan waktu tanggap sistem. Setiap percobaan dilakukan sebanyak lima kali, kemudian hasil pengukuran delay dicatat dan dihitung nilai rata-ratanya untuk memperoleh gambaran performa sistem secara keseluruhan. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian Delay Komunikasi Sistem dengan Aplikasi Android

Percobaan	Jarak (m)	Delay (ms)	Stabilitas Koneksi	Keterangan
1	1	820	Sangat stabil	Komunikasi cepat tanpa jeda
2	3	940	Stabil	Waktu tanggap masih cepat
3	5	1010	Cukup stabil	Sedikit penundaan akibat interferensi lingkungan
4	7	1190	Kurang stabil	Delay meningkat, terjadi <i>latency</i> sesaat
5	10	-	-	Komunikasi terputus, tidak bisa menerima data
Rata-rata		990	-	-

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5, komunikasi antara perangkat ESP32 dan aplikasi Android melalui koneksi Bluetooth menunjukkan rata-rata waktu tunda (*delay*) sebesar 990 ms, yang masih tergolong baik untuk komunikasi data jarak pendek. Pada jarak 1–5 meter, koneksi berlangsung stabil dengan delay di bawah 1 detik, menandakan proses pengiriman data posisi berjalan cepat dan responsif. Namun, pada jarak 7 meter, delay meningkat menjadi 1,19 detik karena pengaruh interferensi lingkungan dan redaman sinyal. Ketika jarak mencapai 10 meter, komunikasi terputus akibat melewati batas efektif koneksi Bluetooth. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem masih dapat menampilkan data posisi secara *real-time* pada jarak  $\leq 7$  meter.

### 4. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem pelacakan lokasi antarpendaki berbasis LoRa dan aplikasi Android tanpa koneksi internet. Sistem yang dikembangkan menggabungkan modul LoRa Ebyte E220-900T22D, GPS SIM808, dan mikrokontroler ESP32 yang terhubung ke aplikasi Android melalui Bluetooth untuk menampilkan posisi pendaki secara real-time pada peta offline.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa akurasi GPS memiliki deviasi rata-rata 6–7 meter, yang masih berada dalam batas toleransi untuk aktivitas pelacakan di area terbuka. Pada

pengujian komunikasi LoRa, sistem mencapai jangkauan stabil hingga 350 meter pada kondisi LOS dan 180–280 meter pada kondisi NLOS dengan PDR  $\geq 85\%$  dan delay  $< 1,7$  detik. Sementara itu, jangkauan maksimum komunikasi tercapai pada 500 meter (LOS) dan 350 meter (NLOS) dengan performa yang mulai menurun (RSSI sekitar  $-100$  hingga  $-103$  dBm dan PDR 72–76%). Komunikasi Bluetooth antara ESP32 dan aplikasi Android menunjukkan delay rata-rata 990 ms, yang masih cukup cepat untuk menampilkan posisi pendaki secara langsung pada peta digital offline. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan mampu menyediakan solusi pelacakan lokasi antarpendaki secara *real-time* tanpa bergantung pada jaringan seluler, sehingga berpotensi digunakan pada aktivitas pendakian kelompok maupun operasi di area minim sinyal.

Sebagai pengembangan penelitian lebih lanjut, beberapa aspek dapat ditingkatkan, seperti pengujian sistem pada skenario multi-node dengan lebih dari 3–5 pendaki, integrasi fitur pesan darurat yang lebih kaya (teks, status kesehatan, dan peringatan otomatis), optimasi konsumsi daya serta pengujian ketahanan baterai pada durasi pendakian panjang, serta eksplorasi arsitektur mesh LoRa untuk memperluas jangkauan komunikasi dan meningkatkan reliabilitas sistem pada medan yang lebih kompleks.

## Daftar Pustaka

- [1] J. Langer, J. Quist, dan K. Blok, “Review of Renewable Energy Potentials in Indonesia and Their Contribution to a 100% Renewable Electricity System,” *Energies*, vol. 14, no. 21, Art. no. 21, Jan 2021
- [2] A. N. Coutsar, S. Aritonang, S. Sjamsoeddin, dan A. Bagdja, “The Design Concept of an Electric Amphibious Bus as an Alternative Mass Transportation on Rivers and Roads to Overcome Congestion in the Jabodetabek,” *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, vol. 20, no. 2, hlm. 175–186, Mei 2023
- [3] A. A. Araby dkk., “Smart iot monitoring system for agriculture with predictive analysis,” dalam *2019 8th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST)*, IEEE, 2019, hlm. 1–4.
- [4] C. Yang, Q. Huang, Z. Ye, dan J. Han, “Dynamic Modeling of Spatial 6-DOF Parallel Robots Using Kane Method for Control Purposes,” dalam *2010 Second International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, Agu 2010, hlm. 180–183.
- [5] D. Deb, V. E. Balas, dan R. Dey, *Engineering Research Methodology: A Practical Insight for Researchers*, 1st ed. 2019. dalam Intelligent Systems Reference Library, no. 153. Singapore: Springer Singapore, 2019.
- [6] S. C. Chapra dan R. P. Canale, *Numerical methods for engineers*, Seventh edition. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2015.
- [7] A. A. Araby dkk., “Smart iot monitoring system for agriculture with predictive analysis,” dalam *2019 8th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST)*, IEEE, 2019, hlm. 1–4.
- [8] C. Yang, Q. Huang, Z. Ye, dan J. Han, “Dynamic Modeling of Spatial 6-DOF Parallel Robots Using Kane Method for Control Purposes,” dalam *2010 Second International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, Agu 2010, hlm. 180–183.
- [9] D. Deb, V. E. Balas, dan R. Dey, *Engineering Research Methodology: A Practical Insight for Researchers*, 1st ed. 2019. dalam Intelligent Systems Reference Library, no. 153. Singapore: Springer Singapore, 2019.

- [10] S. C. Chapra dan R. P. Canale, *Numerical methods for engineers*, Seventh edition. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2015.
- [11] J. Langer, J. Quist, dan K. Blok, “Review of Renewable Energy Potentials in Indonesia and Their Contribution to a 100% Renewable Electricity System,” *Energies*, vol. 14, no. 21, Art. no. 21, Jan 2021
- [12] A. N. Coutsar, S. Aritonang, S. Sjamsoeddin, dan A. Bagdja, “The Design Concept of an Electric Amphibious Bus as an Alternative Mass Transportation on Rivers and Roads to Overcome Congestion in the Jabodetabek,” *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, vol. 20, no. 2, hlm. 175–186, Mei 2023
- [13] A. A. Araby dkk., “Smart iot monitoring system for agriculture with predictive analysis,” dalam *2019 8th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST)*, IEEE, 2019, hlm. 1–4.
- [14] C. Yang, Q. Huang, Z. Ye, dan J. Han, “Dynamic Modeling of Spatial 6-DOF Parallel Robots Using Kane Method for Control Purposes,” dalam *2010 Second International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, Agu 2010, hlm. 180–183.
- [15] D. Deb, V. E. Balas, dan R. Dey, *Engineering Research Methodology: A Practical Insight for Researchers*, 1st ed. 2019. dalam Intelligent Systems Reference Library, no. 153. Singapore: Springer Singapore, 201