



Innovation in Monitoring Climbers Using the Internet of Things to Enhance Safety and Order on Mountains

Inovasi *Monitoring* Pendaki Menggunakan Internet of Things untuk Membantu Keselamatan dan Ketertiban Digunung

Rahmat Perjalanan^{1*} Irving Vitra Paputungan²

^{1,2}Department of Informatics, Faculty of Engineering,
Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

E-Mail: ¹rahmatperjalanan3@gmail.com, ²irving@uii.ac.id

Received Oct 15th 2024; Revised Jan 11th 2025; Accepted Feb 22th 2025; Available Online Mar 12th 2025, Published Mar 12th 2025
Corresponding Author: Rahmat Perjalanan
Copyright © 2025 by Authors, Published by Institut Riset dan Publikasi Indonesia (IRPI)

Abstract

This study aims to develop innovations in monitoring systems for hikers to enhance safety and order during mountain climbing activities. The designed system integrates Global Positioning System (GPS) technology with radio waves. The research was conducted in two stages: first, the device was tested in an urban area to evaluate its basic functionality. Second, the device was tested directly on mountain hiking trails through three trials. The main challenges in developing this device included maintaining GPS signal reliability in mountainous regions, selecting high-quality components capable of withstanding extreme environments, and designing a portable device that is easy for hikers to carry. Field testing results demonstrated that the GPS device could detect hikers' positions up to a maximum distance of 5.9 kilometers, although the accuracy varied. Factors such as high cliffs, heavy rain, overcast skies, and strong winds affected the GPS signal consistency. Nevertheless, this study successfully introduced a new approach to monitoring hikers, contributing significantly to improving the quality of mountain climbing system services.

Keyword: Monitoring, Mountain climbing, Global Positioning System, Mount Merbabu National Park

Abstrak

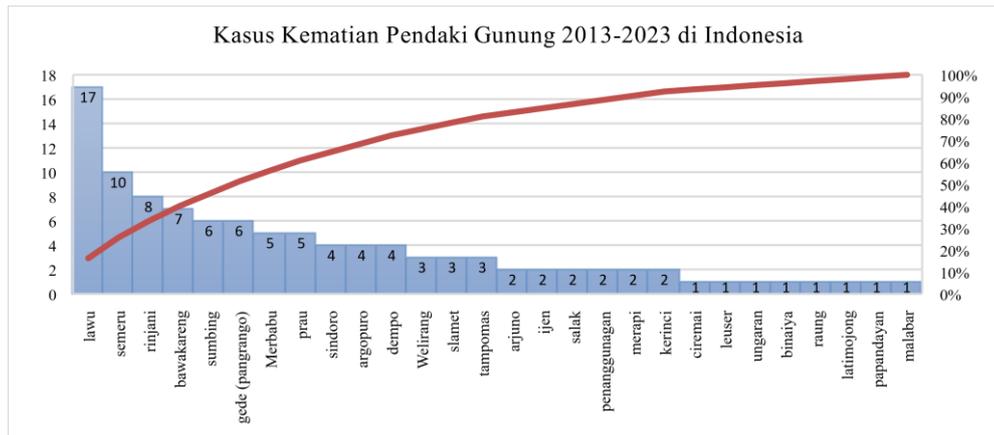
Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan inovasi dalam sistem *monitoring* pendaki guna meningkatkan keselamatan dan ketertiban aktivitas pendakian gunung. Sistem yang dirancang menggabungkan teknologi Global Positioning System (GPS) dan gelombang radio. Penelitian dilakukan dalam dua tahap: pertama, pengujian perangkat dilakukan di area perkotaan untuk menguji fungsionalitas dasar. Kedua, perangkat diuji langsung di jalur pendakian gunung melalui tiga kali percobaan. Tantangan utama dalam pengembangan perangkat ini meliputi: keberlanjutan sinyal GPS di daerah pegunungan, pemilihan komponen yang bagus dan tahan terhadap lingkungan ekstrem, serta desain alat yang portabel dan mudah dibawa oleh pendaki. Hasil pengujian lapangan menunjukkan bahwa perangkat GPS dapat mendeteksi posisi pendaki hingga jarak maksimum 5,9 kilometer, meskipun tingkat akurasinya bervariasi. Hambatan seperti tebing tinggi, hujan deras, awan mendung, dan angin kencang memengaruhi konsistensi sinyal GPS. Namun demikian, penelitian ini berhasil menemukan pendekatan baru untuk memonitor pendaki, sekaligus memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kualitas layanan sistem pendakian gunung.

Kata Kunci: *Monitoring*, Pendakian gunung, Global Position System, Taman Nasional Gunung Merbabu

1. PENDAHULUAN

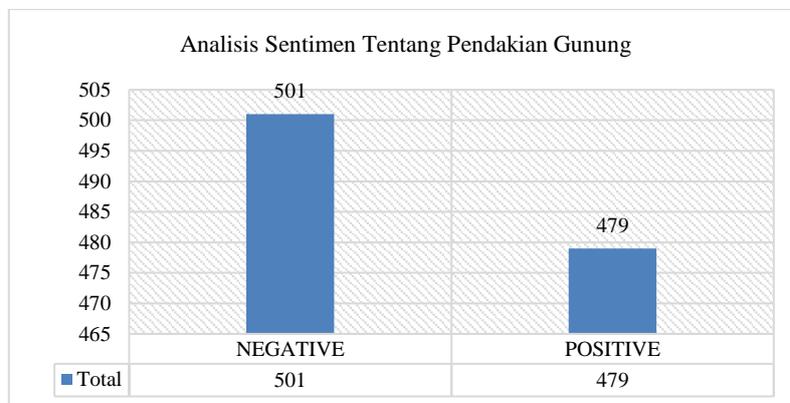
Mendaki gunung merupakan aktifitas menyenangkan untuk sebagian orang [1]. Seiring dengan perkembangan zaman, pendakian gunung dilakukan dengan berbagai tujuan seperti penelitian, kegiatan pecinta alam, atau wisata untuk menikmati keindahan alam dari puncak gunung. Namun selama pendakian, banyak orang yang ditemukan dalam kondisi sakit, cedera, mengalami hipotermia, tersesat hingga hilang, bahkan meninggal dunia dengan jasad tidak dapat ditemukan [2]. Beberapa data dan survey mengatakan bahwa hilangnya pendaki gunung di Indonesia setiap tahun mengalami kenaikan yang signifikan, sehingga menyebabkan angka minat orang untuk mendaki gunung semakin menurun.





Gambar 1. Angka Kematian Pendaki Gunung

Gambar 1 menjelaskan bahwa angka kematian pendaki dari sepuluh tahun terakhir semakin bertambah setiap tahunnya. Oleh karena itu timbul opini masyarakat tentang bahaya kegiatan mendaki gunung.



Gambar 2. Sentimen Orang Tentang Pendakian Gunung

Gambar 2 menjelaskan bahwa kegiatan mendaki gunung itu berbahaya dan negatif [3]. Pendakian gunung dikategorikan sebagai kegiatan berisiko tinggi karena potensi dari cedera fisik dengan tingkat keparahan yang tinggi hingga kematian [4]. Meskipun demikian masih banyak orang melakukan pendakian khususnya di Jawa Tengah. Salah satu gunung terfavorit di Jawa Tengah adalah Gunung Merbabu. Gunung Merbabu merupakan taman nasional yang pengelolanya bekerjasama dengan masyarakat di kawasan tersebut. Keuntungan yang di terima negara dari pendapatan negara bukan pajak dapat dilihat pada tabel 1 [5].

Tabel 1. Pendapatan Negara Bukan Pajak Jalur Pendakian Selo

No	Bulan	2018	2017	2016	2015	2014
1.	Januari	Rp. 56.000.000	Rp 27.000.000	Rp 30.000.000	Rp 30.650.000	Rp.1.500.000
2.	Februari	Rp -	Rp 18.600.000	Rp 30.000.000	Rp 18.750.000	Rp 2.550.000
3.	Maret	Rp 55.605.000	Rp 17.900.000	Rp 36.000.000	Rp 24.000.000	Rp -
4.	April	Rp 82.695.000	Rp 77.635.000	Rp 45.000.000	Rp 31.000.000	Rp 5.100.000
5.	Mei	Rp 111.360.000	Rp 50.140.000	Rp 90.000.000	Rp 18.000.000	Rp 1.650.000
6.	Juni	Rp 84.625.000	Rp 7.755.000	Rp 29.500.000	Rp 27.000.000	Rp 5.700.000
7.	July	Rp 101.450.000	Rp 56.000.000	Rp 35.250.000	Rp 13.000.000	Rp 600.000
8.	Agustus	Rp 135.517.500	Rp 64.935.000	Rp 35.000.000	Rp 51.850.000	Rp 21.467.000
9.	September	Rp 106.225.000	Rp 52.562.500	Rp 32.000.000	Rp -	Rp 16.650.000
10.	Oktober	Rp 36.450.000	Rp 35.332.500	Rp 21.570.000	Rp -	Rp 21.800.000
11.	November	Rp 46.600.000	Rp 26.345.000	Rp 12.000.000	Rp -	Rp 16.850.000
12.	Desember	Rp 70.635.000	Rp 44.290.000	Rp 48.300.000	Rp 20.000.000	Rp 16.650.000
	Jumlah	Rp 887.162.500	Rp 483.260.000	Rp 444.620.000	Rp 234.250.000	Rp 110.517.000

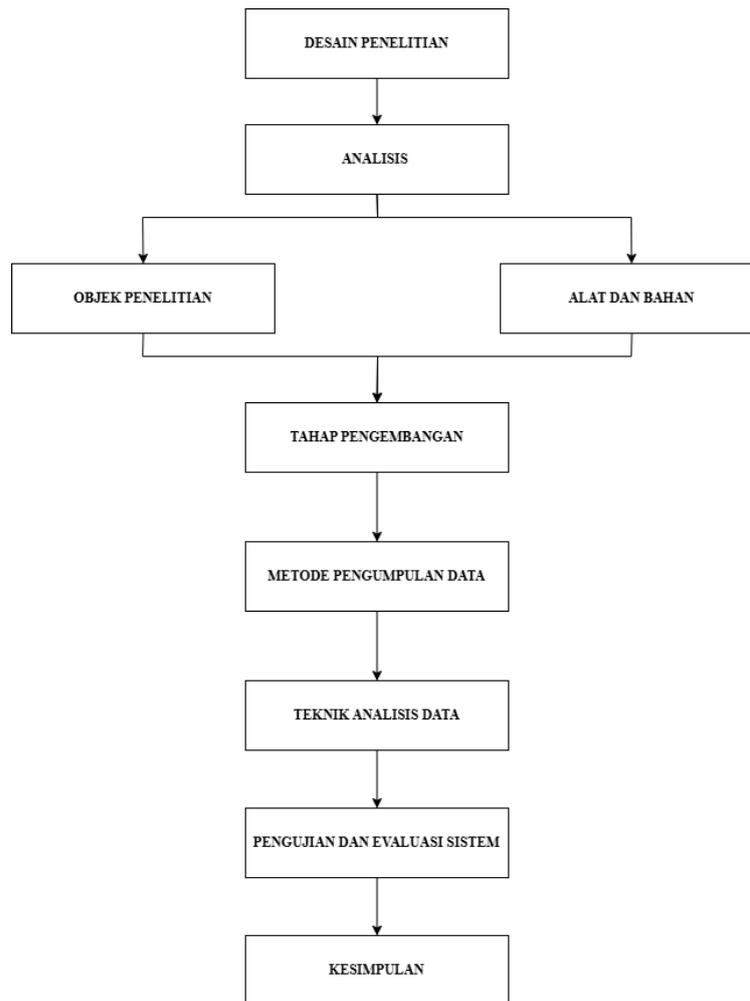
Tabel 1 mengilustrasikan bahwa total pendapatan negara setiap tahun dari Taman Nasional Gunung Merbabu mengalami peningkatan hampir mencapai satu miliar, mencapai Rp.887.162.500 pada tahun 2018,. Banyaknya pengunjung ke Gunung Merbabu berkontribusi pada tingginya pendapatan negara serta masyarakat

setempat. Taman Nasional Gunung Merbabu juga menyediakan berbagai layanan, salah satunya adalah sistem *monitoring* pendaki di kawasan gunung tersebut.

Penelitian sebelumnya yaitu Sistem pemantauan berbasis *internet of things* ini sudah bisa berfungsi. Setelah diuji dibawah pepohonan alat mampu mendeteksi hanya berjarak maksimal 30 meter, kemudian alat hanya digunakan untuk scan gelang *Radio Frequency Identification* (RFID), sedangkan pihak pengelola pendakian tidak bisa melacak posisi pendaki secara *realtime* [6]. Kemudian penelitian kedua, Alat dan aplikasi yang dibuat berhasil mengetahui keberadaan pendaki yang sedang sakit berdasarkan deteksi suhu tubuh pendaki. Namun, apabila pendaki tersesat tidak dibahas bagaimana cara mengetahui koordinat pendaki [7]. Kebaruan dari penelitian ini adalah posisi pendaki dapat terdeteksi secara *realtime* dan pendaki dapat meminta bantuan kepada pihak pengelola ketika terjadi kendala selama pendakian.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan analisis dan pengembangan alat, beberapa langkah diantaranya dapat dilihat pada gambar 3.



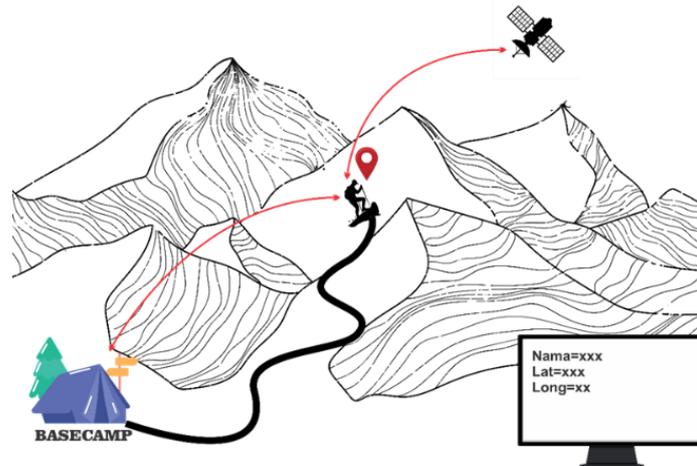
Gambar 3. Langkah-Langkah Penelitian

2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini termasuk kedalam pengembangan sistem berbasis IoT menggunakan teknologi gelombang radio dengan metode penelitian kualitatif. konseptual pembuatan sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) dapat dilihat pada gambar 4. Penelitian ini bertujuan untuk membantu pihak pengelola dalam memonitoring pendaki dan membantu pendaki meminta bantuan kepada pihak pengelola ketika terjadi kendala selama pendakian. Sistem ini juga bertujuan untuk mempermudah komunikasi antara pendaki dan petugas penyelamatan serta memberikan data yang akurat untuk mencegah kecelakaan dan memastikan keselamatan pendaki.

Penelitian ini juga sangat relevan untuk mengintegrasikan teknologi modern dalam pengelolaan destinasi wisata alam, yang semakin populer. Dengan menggunakan IoT, sistem dapat menyediakan data yang dibutuhkan untuk analisis lebih lanjut dan pengambilan keputusan yang lebih baik dalam pengelolaan jalur

pendakian dan konservasi alam. Selanjutnya, Dalam situasi darurat, kecepatan respons sangat penting. Dengan pemantauan real-time yang dilakukan oleh sistem IoT, tim penyelamat dapat merespons lebih cepat dan lebih tepat, mengurangi kemungkinan cedera atau korban jiwa.



Gambar 4. Gambaran Konseptual Umum Penelitian

2.2. Objek Penelitian

Objek penelitian ini yaitu alat sistem *monitoring* pendaki gunung sedangkan lokasi penelitiannya di area perkotaan dan di pendakian merbabu via selo Taman Nasional Gunung Merbabu. Menurut penelitian yang dilakukan [8]. Gunung yang terbaik di Jawa Tengah yaitu Gunung Merbabu dengan hasil perhitungan matrik 9.6 dan peringkat SPK 9.6. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh [6] sistem *monitoring* pendaki gunung dapat dipantau menggunakan gelang RFID. Salah satu gunung yang menggunakan fitur gelang pintar adalah Taman Nasional Gunung Merbabu [9]. Kemudian penelitian selanjutnya dilakukan pada pendakian gunung yang lebih rendah guna untuk membandingkan tingkat keakuratan alat yang dibangun dengan hambatan yang berbeda.

2.3. Alat dan Bahan

Beberapa alat dan bahan penelitian yang akan digunakan dalam proses penelitian ini hingga implementasi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Alat dan Bahan

No.	Alat dan Bahan
1.	Website
2.	Server lokal
3.	Modul GPS Neo-6M
4.	Lora E22
5.	Arduino Nano Atmega 328
6.	NodeMcu ESP 8266
7.	Batrei Charger
8.	Lampu Led
9.	Antenna
10.	Switch ON/OFF
11.	Resistor
12.	Stepdown Module
13.	Adaptor/Power Supply
14.	LCD Oled 0.96 inch
15.	SD Card Module
16.	Modul Batrei Charger
17.	Kabel Jumper

2.4. Tahap Pengembangan

Tahap pengembang sistem memiliki beberapa bagian sebagai berikut:

2.4.1. Analisis kebutuhan.

Analisis kebutuhan ini bertujuan untuk mengidentifikasi berbagai elemen yang perlu diperhatikan dalam pengembangan sistem monitoring IoT yang efektif. Hal ini meliputi pemahaman terhadap kebutuhan pendaki, petugas pengelola gunung, serta pihak berwenang yang bertanggung jawab terhadap keselamatan dan

pengelolaan lingkungan gunung. Selain itu, analisis ini juga akan memperhatikan aspek teknis, seperti perangkat keras dan perangkat lunak yang dibutuhkan, serta integrasi sistem dengan infrastruktur yang ada di lokasi pendakian. Analisis kebutuhan dapat ditunjukkan pada tabel 3.

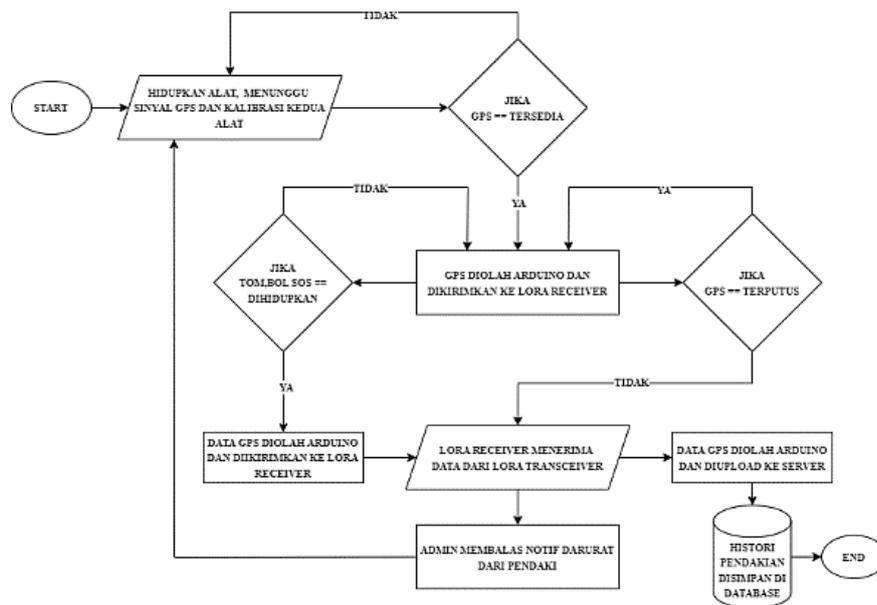
Tabel 3. Analisis kebutuhan

Kebutuhan pengguna	Kebutuhan fungsional
1. Pendaki: a. Alat harus ringan dan mudah dibawa pendaki b. Dapat memberikan laporan lokasi setiap beberapa detik c. Memiliki tombol darurat untuk mengirimkan sinyal bantuan 2. Pengelola: a. Dapat memantau lokasi pendaki secara <i>realtime</i> b. Mendapatkan notifikasi darurat ketika pendaki mendapat kendala di pendakian. c. Akses ke data historis pendaki	1. Sistem pelacakan GPS: a. Sistem harus terhubung ke modul gps untuk melacak posisi pendaki secara akurat b. Perangkat harus mengirimkan data lokasi secara berkala 2. Sistem IoT: a. Perangkat IoT yang digunakan oleh pendaki harus terhubung dengan <i>base receiver</i> untuk mengirimkan data lokasi dan notifikasi darurat. b. Sistem harus mengirimkan komunikasi dua arah antara pendaki dan tim pengelola pendakian. 3. Pengolahan data: a. Data yang diterima dari pendaki harus dapat diproses dan ditampilkan dalam dashboard <i>realtime</i> . b. Menyimpan data rute dan posisi pendaki untuk analisis selanjutnya.

2.4.2. Desain Sistem

Desain sistem dilakukan dengan beberap bagian, yang terdiri dari alur sistem kerja alat, skema perancangan alat GPS dan Implementasi sistem.

1. Alur sistem kerja alat

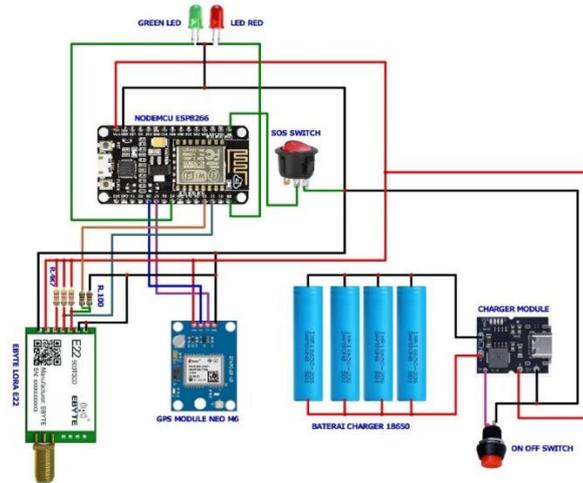


Gambar 5. Sistem Kerja Alat

Gambar 5 menjelaskan dua alat yang saling terhubung memanfaatkan teknologi gelombang radio yaitu Ebyte Lora. Modul Lora dapat mengirimkan data titik koordinat ketika pendaki mengalami kendala kepada pihak *basecamp*.

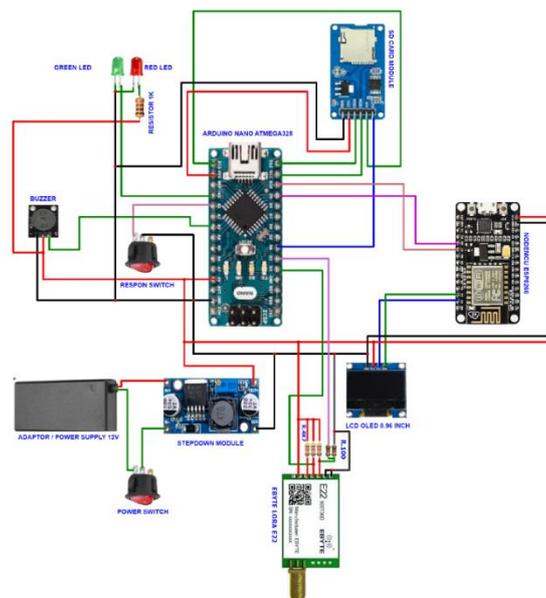
2. Skema Perancangan Alat GPS

Gambar 6 skema perancangan alat gps transceiver diatas menjelaskan ketika switch on pada alat ditekan maka lampu led indikator merah akan menyala sebagai tanda alat sudah aktif. Kemudian modul gps yang terletak pada alat akan otomatis mencari koordinat terlebih dahulu. Ketika koordinat telah dideteksi maka lampu indikator led yang sudah menyala akan berkedip secara terus menerus sebagai tanda bahwa sinyal koordinat didapatkan.



Gambar 6. Skema GPS transceiver

Selanjutnya koordinat GPS akan diolah terlebih dahulu oleh arduino dan kemudian dikirimkan oleh lora transeiver ke lora *base receiver* yang ada di *basecamp*. Untuk skema perancangan *base receiver* dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Skema Base receiver

Gambar 7 perancangan *base receiver* menjelaskan setelah *switch on* dihidupkan maka lora receiver akan terhubung ke lora *transceiver*. Alat akan menerima titik koordinat gps dari lora *transceiver* secara berkala. Ketika pendaki menekan tombol SoS yang ada pada gps *transceiver*, maka gps receiver akan menerima notif darurat.

Selanjutnya admin *basecamp* dapat melihat posisi pendaki dan sebagai tanda bahwa pesan darurat sudah sampai ke pihak *basecamp*, maka admin *basecamp* juga akan memberikan balasan kepada sipendaki. Jika pesan balasan dari admin *basecamp* telah sampai ke alat sipendaki, lampu indikator led warna hijau akan berkedip pada alat sipendaki.

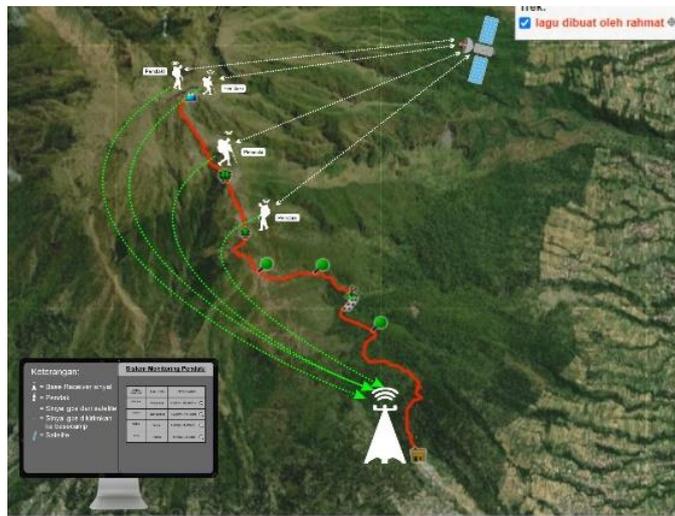
3. Implementasi sistem

a. Implementasi sistem *monitoring*

- 1) Sistem dapat menampilkan posisi pendaki secara *real-time* di *dashboard* tim pengelola, yang dilengkapi dengan peta interaktif untuk memudahkan pelacakan.
- 2) Jika pendaki mengirimkan notifikasi darurat, maka pihak pengelola segera membalas notifikasi tersebut dan bergerak ke jalur pendakian memberikan bantuan.

b. Implementasi dilapangan

- 1) Setiap pendaki diberi perangkat IoT yang sudah diaktifkan dan terhubung keserver sebelum mendaki ke gunung.
- 2) Gambaran umum implementasi dilapangan dapat dilihat pada gambar 8.

Gambar 8. Simulasi *monitoring* pendaki

2.5. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dilakukan dengan dua cara. Yaitu data primer dan sekunder. Data primer di kumpulkan langsung melalui perangkat IoT. Data lokasi pendaki dan permintaan bantuan akan langsung masuk kedalam database atau *micro SD* melalui *base receiver gps* yang ada di *basecamp*. Sedangkan data sekunder dikumpulkan melalui umpan balik dari pengguna yaitu pendaki gunung dan pihak pengelola pendakian gunung. Daftar pertanyaan wawancara kepada pendaki dan pihak pengelola dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Pertanyaan Wawancara Pengumpulan Data

No.	Pendaki	Pihak pengelola
1	Pengalaman Pendakian	Kunjungan pendaki dan dampaknya
2	Kepatuhan terhadap peraturan pendakian	Kendala dan upaya penanganan
3	Penyebab kecelakaan di gunung	Sistem <i>monitoring</i> dan teknologi
4	Pengalaman sistem layanan pendakian	
5	Pandangan terhadap sistem <i>monitoring</i> pendaki	

2.6. Teknik Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini menggunakan analisis data spasial. Analisis data spasial dari hasil GPS dalam konteks pendakian melibatkan beberapa langkah untuk memahami pergerakan pendaki, akurasi jalur, serta mengidentifikasi kesalahan atau deviasi dari jalur resmi. Analisis data spasial yang digunakan adalah analisis jarak. Ada beberapa langkah yang digunakan untuk menganalisis jarak:

1. Pengumpulan data GPS.

Data dikumpulkan dengan format gpx langsung otomatis masuk keserver yang ada di *basecamp*. Kemudian data divalidasi sehingga dapat dipastikan tidak ada data yang rusak.

2. Pembersihan data

Data yang telah dikumpulkan akan diperiksa apakah ada titik-titik koordinat berada jauh dari jalur pendakian yang mungkin diakibatkan oleh kesalahan sinyal GPS.

3. Penggunaan perangkat lunak

Selanjutnya pemilihan perangkat lunak. Ada beberapa perangkat lunak yang digunakan seperti: perangkat lunak *ArcGis*, *Google Maps* dan *maps visualizer*.

4. *Overlay* lokasi hasil alat dengan jalur pendakian resmi

Melakukan *overlay* atau tumpang tindih antara data GPS dari pendaki dengan peta jalur pendakian resmi. Selanjutnya mengamati apakah terdapat perbedaan antara jalur yang dilalui pendaki (berdasarkan data GPS) dan jalur pendakian yang seharusnya ditempuh.

5. Analisis deviasi jalur
Selanjutnya menghitung jarak antara titik-titik GPS dengan jalur pendakian resmi untuk mengetahui sejauh mana pendaki menyimpang dari jalur yang diizinkan.
6. Visualisasi data
Membuat peta visual yang menunjukkan rute GPS yang diambil oleh pendaki dan dibandingkan dengan jalur pendakian resmi. Peneliti menggunakan garis yang berbeda warna untuk membedakan jalur pendaki dari jalur resmi..

2.7. Pengujian Dan Evaluasi Sistem

Pengujian alat pada penelitian ini dilakukan dengan dua cara sebagai berikut:

1. Alat akan diuji diperkotaan dengan hambatan bangunan dan gedung tinggi.
2. Alat akan diuji langsung di jalur pendakian Taman Nasional Gunung Merbabu via selo dengan hambatan lembah dan hutan.

Kriteria keberhasilan penelitian ini dilihat dari keakurasian posisi pendaki, keandalan alat *monitoring* dan umpan balik dari pengguna. Sedangkan evaluasi sistem untuk mendapatkan umpan balik dari pengguna dilakukan dengan cara wawancara kepada pendaki dan pihak pengelola. Daftar pertanyaan wawancara kepada pengguna disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Pertanyaan Wawancara Evaluasi *Monitoring*

No.	Pendaki	Pihak Pengelola
1	Pengalaman pengguna	Pengenalan sistem
2	Keamanan dan kenyamanan	Efektifitas dan keandalan
3	Efektivitas dalam keadaan darurat	Dampak terhadap manajemen pendakian
4	Saran dan masukan	Saran dan pengembangan

2.8. Literatur Review

Berikut ini adalah penelitian yang relevan dan telah dilakukan sebelumnya terkait dengan topik penelitian ini:

1. Penelitian [12] Penelitian ini berhasil mendeteksi pengunjung yang memasuki area pedalaman di cagar alam maupun taman nasional dengan pemetaan menggunakan pelacakan gps. Sehingga ketahuan data pengunjung yang memberikan penilaian tempat saja tetapi tidak mengunjungi tempat tersebut. Tetapi, pelacakan menggunakan alat gps pada penelitian ini belum bisa memberikan titik lokasi secara *realtime*.
2. Penelitian [7] Alat dan aplikasi yang dibuat berhasil mengetahui keberadaan pendaki yang sedang sakit berdasarkan deteksi suhu tubuh pendaki. Namun, apabila pendaki tersesat tidak dibahas bagaimana cara mengetahui koordinat pendaki.
3. Penelitian [13] Alat yang dirancang untuk mengukur seberapa akurat gps tracking yang dibuat kemudian di uji diantara gedung serta bangunan tinggi.
4. Penelitian [12] Gps dapat mendeteksi keberadaan pengunjung serta data pelacakan gps juga bisa digunakan untuk membuat aturan yang baru bagi para pengunjung. Data pelacakan gps hanya dibuat untuk melihat histori area yang sudah dilalui pengunjung dan datanya hanya bisa dibuka setelah pengunjung menembalikan gps kepihak pengelola.
5. Penelitian [6] Sistem pemantauan berbasis *internert of things* ini sudah bisa berfungsi. Setelah diuji dibawah pepohonan alat mampu mendeteksi hanya berjarak maksimal 30 meter, kemudian alat hanya digunakan untuk scan gelang Radio RFID, sedangkan pihak pengelola pendakian tidak bisa melacak posisi pendaki secara *realtime*.
6. Penelitian [14] Hasil data pelacakan gps yang telah dikumpulkan hanya 61% pendaki yang memilih jalur yang ditandai, sedangkan pendaki lainnya lebih memilih jalur yang tidak diberi tanda bahkan keluar jalu dan alat yang dibangun belum bisa mendeteksi pendaki yang keluar jalur atau lintas jalur.
7. Penelitian [2] Aplikasi pemantauan hanya bisa terdeteksi jika pendaki berada dekat dengan pos yang dilalui atau berada pada jalur yang dianjurkan, jika pendaki tersesat berjalan menjauhi jalur, pendaki tidak dapat terdeteksi karena jangkauan *wireless access point* yang minim.
8. Penelitian [15] Sistem pelacakan burung menggunakan gps yang telah dibangun berhasil untuk mengetahui migrasi burung pada musim gugur dan musim semi. Akan tetapi, ada 5 dari 49 burung diantaranya tidak diketahui posisinya (hilang sinyal).
9. Penelitian [16] Sistem yang dibangun menggunakan ultra-wideband (UWB) untuk pemantauan kinerja olahraga. Hasil yang didapatkan juga sudah dapat mengungguli sistem pemantauan posisi berbasis GPS (1 Hz dan 10 Hz). Namun, penerapan kinerja menggunakan *ultra-wideband* (UWB) ini belum ada penerapannya pada penentuan posisi pendaki gunung,

10. Penelitian [17] menggunakan alat smartsole gps ini berhasil mendapatkan akurasi terbaik sebesar 78% dalam memprediksi lokasi penderita alzheimer. Akan tetapi, jika diterapkan pada pendaki gunung maka alat tidak terlalu cocok. Karena, pendaki bisa saja melepas sepatu atau alat gps rentan rusak

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Hasil Uji Alat I

Pada penelitian ini, pengujian alat gps yang dibangun menjadi 2 bagian. Bagian pertama alat diuji diperkotaan dengan hambatan gedung-gedung tinggi, pengujian kedua dan selanjutnya akan dilakukan di jalur pendakian gunung. Hasil uji alat diperkotaan dapat dilihat pada gambar 9.

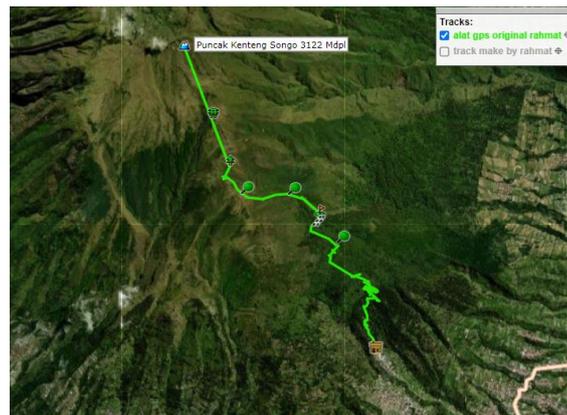


Gambar 9. Hasil I Uji Alat Di Kota

Gambar 9 menjelaskan pengujian alat diperkotaan dengan hambatan bangunan atau gedung tinggi. jika diukur secara horizontal, alat yang dibangun masih dapat dijangkau dengan jarak 620 meter dengan tingkat *error* 5 sampai 20 meter. Hal ini sejalan dengan penelitian [13] dan penelitian [18] tingkat *error* titik lokasi disebabkan oleh bentuk bangunan yang padat. Begitu juga sebaliknya, Akurasi semakin tinggi jika tempat pengujian tidak terhalang gedung-gedung tinggi dan berlaku sebaliknya.

3.2. Hasil Uji Alat II

Selanjutnya pengujian yang kedua di lapangan langsung yaitu jalur pendakian gunung. Hasil uji alat *monitoring* pendaki dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Hasil Uji Alat II

Gambar 10 Menjelaskan bahwa alat dapat terdeteksi hingga sampai ke puncak gunung dengan jarak tempuh sejauh 5.9 kilometer. Hal ini sesuai dengan *Datasheet Ebyte Lora E22* yaitu mampu berkomunikasi hingga 12 Km [19]. Akan tetapi alat tidak mampu menembus hambatan seperti lembah dan tebing. Hal ini sesuai dengan datasheet modul gps *ublox neo-6m* [20] Peningkatan maksimum akurasi posisi dicapai dengan PPP+SBAS dan hanya dapat terdeteksi di lingkungan dengan pandangan langit atau tanpa halangan selama periode dalam hitungan menit.

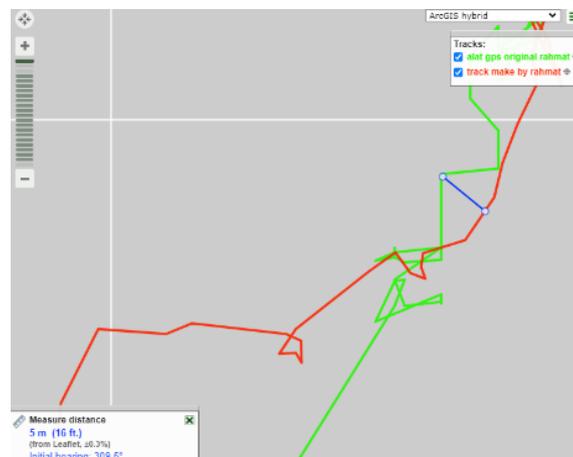
Pada gambar 10 posisi 2 titik pendakian terakhir yaitu di Pos sabana 1 dan Sabana 2, sehingga posisi pendaki tidak terdeteksi oleh pihak *basecamp*. hal ini disebabkan oleh kondisi N-Los (*Non-Line of Sight*) sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [21] pada kondisi N-Los, Lora akan semakin lambat mengirimkan data bahkan data bisa hilang. Kemudian alat akan otomatis mengirimkan koordinat posisi ketika pendaki telah melewati kondisi N-Los tersebut.

Selanjutnya perbandingan hasil uji alat dengan peta pendakian resmi masih terjadi ketidakakuratan posisi. Hasil perbandingan alat dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Perbandingan Hasil Alat Gps Dengan Peta Pendakian

Gambar 11 menjelaskan masih terdapat titik koordinat yang tidak sesuai dengan jalur pendakian resmi. Hal ini disebabkan karena lembah dan tebing yang tinggi akan memantulkan balik sinyal radio yang dikirimkan. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [18] sinyal radio/GPS yang dipakai akan terpantul jika bertemu dengan objek seperti gedung atau batu besar. Titik koordinat yang tidak sesuai dengan jalur pendakian resmi dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Titik Koordinat Yang Error

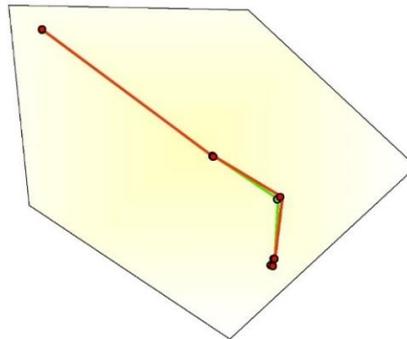
Gambar 12 diatas menjelaskan titik koordinat yang *error* dan tidak sesuai dengan jalur pendakian. Setelah diukur terdapat *error* sejauh 5-27 meter. Hal ini tidak sesuai dengan datasheet modul gps [20] yang mengatakan akurasi posisi horizontal sejauh 2.5 meter. Titik koordinat yang tidak sesuai dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Titik Koordinat Yang Tidak Sesuai

No	Hasil Alat Gps (Lt,Lng)	Jalur Asli (Lt, Lng)	Total Error (Ft)
1.	S7° 28.625' E110° 27.536'	S7° 28.616' E110° 27.547'	88.5
2.	S7° 28.838' E110° 27.524'	S7° 28.837' E110° 27.526'	16
3.	S7° 28.860' E110° 27.513'	S7° 28.863' E110° 27.521'	51.9
4.	S7° 28.019' E110° 26.703'	S7° 28.017' E110° 26.703'	15.2
5.	S7° 28.470' E110° 27.306'	S7° 28.472' E110° 27.310'	25.7

Tabel 6 menjelaskan bahwa beberapa titik yang didapatkan tidak sesuai dengan titik jalur yang sebenarnya. Titik koordinat *error* yang paling jauh sebanyak 88.5 kaki atau sejauh 27 meter. Sedangkan titik

error koordinat paling sedikit yaitu 9.5 kaki atau sejauh 5 meter. *Error* titik koordinat hasil alat dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Perbandingan Koordinat Lokasi Peta Pendakian

Garis hijau merupakan Jalur Pendakian yang sebenarnya, sedangkan Garis merah adalah hasil koordinat dari alat GPS. Selanjutnya dilakukan penelitian ketiga untuk melihat keakuratan dari alat yang dibangun akan diuji di cuaca yang berbeda. Pada penelitian ketiga implementasi alat dilapangan dilakukan pada cuaca ekstrim dengan potensi angin dan hujan deras.

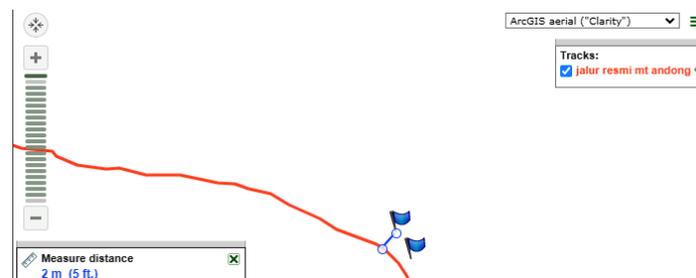
3.3. Hasil Uji Alat III

Pengujian alat yang ketiga ini dilakukan ketika cuaca ekstrim dengan potensi angin dan hujan deras. Hasil dari pengujian alat dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. Hasil Penelitian III

Gambar 14 menjelaskan bahwa alat tidak mampu mengirimkan posisi pendaki ketika berada di cuaca ekstrim. Sehingga posisi pendaki hanya terdeteksi ketika pendaki berada di *basecamp* jalur pendakian. Hal ini disebabkan karena modul gps tidak mampu menembus awan mendung serta angin dan hujan deras untuk mendapatkan titik koordinat dari satelite sehingga menghambat proses pengiriman sinyal ke *base receiver* yang ada di base camp pendakian. Sejalan dengan penelitian [22]. Karakteristik *signal* yang kuat pada setiap lokasi penelitian sangat dipengaruhi oleh kondisi geografis bumi, kondisi lingkungan, dan keadaan cuaca saat pengambilan data.



Gambar 15. Titik *Error* posisi pendaki

Gambar 15 menjelaskan posisi pendaki hanya terdeteksi dua kali dengan tingkat *error* sejauh 2 meter. Tingkat *error* gps masih sesuai dengan standar datasheet modul gps [20]. Selanjutnya pada penelitian ke IV alat yang dirancang akan diuji pada kondisi cuaca mendung tapi tidak hujan.

3.4. Hasil Uji Alat IV

Pengujian alat pada penelitian IV ini dilakukan pada kondisi cuaca mendung tapi tidak hujan. Hasil pengujian alat dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. Hasil Penelitian Uji Alat IV

Gambar 16 menjelaskan bahwa alat mampu mengirimkan posisi pendaki ke *base receiver* yang ada di base camp pendakian. Namun beberapa data ada yang hilang pada jalur pendakian. Hal ini disebabkan siklus cuaca mendung yang berganti-ganti. Kondisi ini sejalan dengan penelitian [22] Karakteristik *signal* yang kuat pada setiap lokasi penelitian sangat dipengaruhi oleh kondisi geografis bumi, kondisi lingkungan, dan keadaan cuaca saat pengambilan data.

Selanjutnya bentuk jalur pendakian yang mendaki dan menurun juga mengakibatkan data tidak dapat dikirimkan di *base receiver* seperti gambar 17.



Gambar 17. Hasil Penelitian lost data

Gambar 17 menjelaskan bahwa Kedua bagian data yang hilang adalah jalur pendakian yang bentuknya mendaki dan menurun. Hal ini disebabkan kondisi N-Los seperti lembah dan tebing yang tinggi akan memantulkan balik sinyal radio yang dikirimkan. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [18] sinyal radio/ GPS yang dipakai akan terpantul jika bertemu dengan objek seperti gedung atau batu besar. Kondisi ini sejalan juga dengan penelitian [21] pada kondisi N-Los, Lora akan semakin lambat mengirimkan data bahkan data bisa hilang.

Sedangkan posisi pendaki yang dihasilkan alat tetap tidak sesuai dengan jalur pendakian resmi. Posisi pendaki masih memiliki tingkat *error* sejauh 4 meter. Hal ini tidak sesuai dengan datasheet modul gps yang memiliki tingkat akurasi horizontal sejauh 2.5 meter [20].

Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa keakurasian alat gps yang dirancang tidak konsisten dikarenakan beberapa penghambat dan perbedaan kondisi cuaca. Kesimpulan dari alat yang dibangun dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Kesimpulan Hasil Pengujian

Pengujian	Kondisi Cuaca	Error Rata-rata/Meter	Hambatan	Deskripsi
I	Cerah (dikota)	12.5	Bangunan Padat dan Gedung Tinggi	Hal ini sejalan dengan penelitian [13] dan penelitian [18] tingkat <i>error</i> titik lokasi disebabkan oleh bentuk bangunan yang padat. Begitu juga sebaliknya, Akurasi semakin tinggi

Pengujian	Kondisi Cuaca	Error Rata-rata/Meter	Hambatan	Deskripsi
II	Cerah	16	Hutan pepohonan, Batu dan Tebing tinggi	<p>jika tempat pengujian tidak terhalang gedung-gedung tinggi dan berlaku sebaliknya.</p> <p>Hal ini disebabkan karena lembah dan tebing yang tinggi akan memantulkan balik sinyal radio yang dikirimkan. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [18] sinyal radio/GPS yang dipakai akan terpantul jika bertemu dengan objek seperti gedung atau batu besar.</p> <p>Hal ini disebabkan karena modul gps tidak mampu menembus awan mendung serta angin dan hujan deras untuk mendapatkan titik koordinat dari satelite sehingga menghambat proses pengiriman sinyal ke <i>base receiver</i> yang ada di base camp pendakian. Kondisi ini sejalan dengan penelitian [22] Karakteristik <i>signal</i> yang kuat pada setiap lokasi penelitian sangat dipengaruhi oleh kondisi geografis bumi, kondisi lingkungan, dan keadaan cuaca saat pengambilan data.</p>
III	Ekstrim	1.5	Hutan pepohonan, Batu dan Tebing tinggi	<p>Hal ini disebabkan karena modul gps tidak mampu menembus awan mendung serta angin dan hujan deras untuk mendapatkan titik koordinat dari satelite sehingga menghambat proses pengiriman sinyal ke <i>base receiver</i> yang ada di base camp pendakian. Kondisi ini sejalan dengan penelitian [22] Karakteristik <i>signal</i> yang kuat pada setiap lokasi penelitian sangat dipengaruhi oleh kondisi geografis bumi, kondisi lingkungan, dan keadaan cuaca saat pengambilan data.</p>
IV	Mendung	4	Hutan pepohonan, Batu dan Tebing tinggi	<p>Hal ini disebabkan siklus cuaca mendung yang berganti-ganti. Kondisi ini sejalan dengan penelitian [22] Karakteristik <i>signal</i> yang kuat pada setiap lokasi penelitian sangat dipengaruhi oleh kondisi geografis bumi, kondisi lingkungan, dan keadaan cuaca saat pengambilan data.</p>

3.5. Pembahasan

Berdasarkan perancangan sistem dan hasil implementasi di pendakian gunung, maka sistem *monitoring* masih terdapat beberapa titik koordinat yang *error* sehingga alat gps tidak dapat mengirimkan titik koordinat. Penelitian dilakukan dilapangan dengan berbagai kondisi cuaca mulai dari cuaca cerah, mendung sampai cuaca ekstrim.

Hasil penelitian pertama dengan kondisi cuaca cerah menunjukkan bahwa alat gps yang dibangun mampu terdeteksi diarea perkotaan sejauh 620 m dengan tingkat *error* 5-20 meter dengan hambatan bangunan tinggi dan padat. Hal ini tentunya tidak sesuai dengan modul gps [20] dengan tingkat akurasi horizontal sejauh 2.5 m tanpa halangan atau diarea pandang yang luas.

Selanjutnya hasil penelitian kedua dengan kondisi cuaca cerah menunjukkan bahwa alat juga mampu mengirimkan titik lokasi sejauh 5,9 km jarak tempuh. Hal ini sesuai dengan spesifikasi alat [19] yang mampu mengirimkan data sejauh 12 km jarak tempuh. Akan tetapi, alat tidak mampu mengirimkan titik lokasi ketika ada hambatan seperti lembah dan tebing yang tinggi. Sependapat dengan penelitian yang dilakukan oleh [18] sinyal radio/GPS yang dipakai akan terpantul jika bertemu dengan objek seperti gedung atau batu besar. Keakuratan posisi pendaki juga memiliki *error* sejauh 5-27 m. Hal ini tentunya juga tidak sesuai dengan modul gps [20] dengan tingkat akurasi horizontal sejauh 2.5 m tanpa halangan atau diarea pandang yang luas.

Pada penelitian ketiga dengan kondisi cuaca ekstrim(badai) menunjukkan bahwa alat sama sekali tidak terdeteksi sampai puncak gunung. Alat hanya mampu mengirimkan lokasi ketika berada di *basecamp* pendakian dengan tingkat *error* 1-2 m. Hal ini disebabkan karena modul gps tidak mampu menembus awan mendung serta angin dan hujan deras untuk mendapatkan titik koordinat dari satelite sehingga menghambat proses pengiriman sinyal ke *base receiver*. Sejalan dengan penelitian [22] Karakteristik *signal* yang kuat pada setiap lokasi penelitian sangat dipengaruhi oleh kondisi geografis bumi, kondisi lingkungan, dan keadaan cuaca.

Kemudian penelitian keempat dengan kondisi cuaca mendung tanpa hujan alat mampu mengirimkan titik lokasi hingga puncak gunung. Akan tetapi, ada beberapa data posisi yang hilang ketika pendaki berada dijalur pendakian yang jalurnya menghalangi arah *base receiver*. Data posisi yang hilang ini disebabkan oleh kondisi N-Los. sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [21] pada kondisi N-Los, Lora akan semakin lambat mengirimkan data bahkan data bisa hilang. Selanjutnya alat akan otomatis mengirimkan koordinat posisi ketika pendaki telah melewati kondisi N-Los tersebut. Data yang hilang juga disebabkan oleh cuaca yang silih berganti. Kondisi ini sejalan dengan penelitian [22] Karakteristik *signal* yang kuat pada setiap lokasi penelitian sangat dipengaruhi oleh kondisi geografis bumi, kondisi lingkungan, dan keadaan cuaca saat pengambilan data.

Beberapa penelitian diatas secara keseluruhan kendalanya hampir sama yaitu hambatan benda padat seperti tebing dan lembah, awan mendung dapat menghalangi penangkapan sinyal ke satelite hingga hujan deras dan angin kencang yang dapat menghalangi pengiriman titik lokasi ke *base receiver*. Akan tetapi sistem yang dibangun menawarkan peningkatan signifikan dalam aspek keselamatan dan kenyamanan pendaki

melalui pemantauan yang lebih kontinu dan kemampuan meminta bantuan. Hal ini selaras dengan tujuan inovasi berbasis IoT untuk memastikan keselamatan pendaki gunung.

3.6. Diskusi

Berdasarkan hasil perancangan sistem *monitoring* pendaki dan evaluasi pengguna alat dan pihak yang berkaitan dengan pengelolaan layanan pendakian gunung, maka hasil penelitian secara umum sudah mampu membantu pihak pengelola meningkatkan layanan pendakian dan membantu para pendaki dalam meminta bantuan kepada pihak pengelola. Alat *monitoring* menggunakan teknologi GPS yang dikombinasikan dengan teknologi gelombang radio dapat terdeteksi hingga ke puncak gunung dengan jarak sejauh 5.9 kilometer. Hasil ini sejalan dengan jarak jangkauan modul Lora Ebyte yang digunakan yaitu lebih dari 5 kilometer [23]. Akan tetapi, alat tidak mampu terdeteksi dikarenakan beberapa hambatan seperti tebing, lembah, hujan deras, awan mendung dan silih berganti yang menghalangi jalannya pengiriman data ke *base receiver* atau *basecamp*.

Solusi dari hambatan diatas dapat diatasi dengan membuat repeater penguat sinyal di area yang terhalang oleh tebing dan lembah. Selanjutnya perlu pengembangan secara mendalam dan pertimbangan pemilihan bahan alat yang cocok baik dari segi ketahanan fisik, kualitas, kinerja alat serta desain alat yang mudah dibawa pendaki ke puncak gunung. Alat yang dibangun tidak mampu digunakan untuk komunikasi berupa suara maupun pesan teks. Alat hanya mampu bertukar informasi melalui notifikasi darurat antara pendaki dan pihak *basecamp*.

Pengembangan dari layanan pendakian ini tentunya mempengaruhi pandangan masyarakat yang punya hobi mendaki gunung. Tempat yang aman dan nyaman di area wisata merupakan salah satu nilai tambah untuk menarik kunjungan wisata [24]. Oleh karena itu sistem yang telah dibangun akan dimanfaatkan untuk menarik minat wisatawan mendaki gunung. Selanjutnya pengelola sistem pendakian gunung dapat dikatakan berhasil dalam mengelola wisatawannya karena menyediakan layanan kunjungan wisatawan seperti Sidaring dan Solo Traveller sebelumnya [25]. Beberapa layanan yang sudah dibuat digunakan untuk memberikan kenyamanan kepada pengunjung. Hal ini sejalan dengan pengembangan sistem *monitoring* yang dibangun oleh peneliti yaitu meningkatkan layanan *monitoring* pendaki. Alat yang dirancang pada penelitian ini tentunya akan digunakan sebagai promosi baru layanan pendakian gunung dengan harapan dapat menambah mutu dan kualitas layanan pendakian. Pihak pengelola dapat mempertimbangkan alat yang dirancang peneliti untuk kebutuhan pengembangan layanan pendakian gunung.

3.7 Model Bisnis

Beberapa pilihan model bisnis yang sudah peneliti tawarkan dalam penggunaan sistem *monitoring* gps untuk pendaki gunung. Rincian model bisnis dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Rincian Model Bisnis

Model Bisnis	Deskripsi	Keuntungan	Struktur Pendapatan	Fitur
Berbasis Sewa	Penyediaan perangkat dan sistem dengan biaya langganan bulanan/tahunan.	Pendapatan berulang Biaya awal rendah untuk pengelola	Biaya langganan sistem <i>monitoring</i> Opsi fitur premium	Tracking real-time Laporan data harian
Jual & Lisensi	Penjualan perangkat GPS dengan lisensi sistem <i>monitoring</i> berbayar tahunan.	Pendapatan awal besar Pendapatan berulang dari lisensi	Penjualan perangkat hardware Biaya lisensi software	Update perangkat lunak Analitik aktivitas pendaki
Revenue Sharing	Bagi hasil keuntungan dari penyewaan perangkat kepada pendaki.	Tidak memerlukan biaya awal dari pengelola Pendapatan berbasis performa	Persentase bagi hasil (misal: 60% untuk pengelola, 40% untuk Peneliti)	Penyewaan GPS Dukungan darurat (emergency support)
Pay-per-Use	Pengelola membayar sesuai penggunaan perangkat dan sistem <i>monitoring</i> .	Fleksibel untuk lokasi dengan pendaki musiman	Biaya per perangkat per pendakian Biaya tambahan untuk fitur khusus	Tracking selama mendaki Peringatan bahaya

Berdasarkan tabel 8 maka kesepakatan pihak pengelola pendakian gunung lebih memilih model bisnis berbasis sewa. Sebab masih banyak pertimbangan dari pihak pengelola seperti biaya, kelangsungan penggunaan alat oleh pendaki dan keuntungan yang didapatkan.

Kebaruan dari sistem monitoring pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 9 yang dibedakan atas sistem sebelumnya dan sistem yang dikembangkan saat ini. Dari hasil penelitian ini dapat dijadikan dalam acuan penyimpulan bahwa sistem yang dibangun memiliki perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya.

Tabel 9. Kebaruan Sistem *Monitoring*

Sistem sebelumnya	Sistem yang baru
Posisi pendaki hanya terdeteksi di setiap pos pendakian.	Posisi pendaki terdeteksi secara <i>realtime</i> oleh pihak pemantau.
Pendaki tidak bisa meminta bantuan ketika terjadi kendala.	Pendaki bisa meminta bantuan ketika terjadi kendala.
Tidak ada history perjalanan pendaki.	Sistem mempunyai simpanan history perjalanan pendaki
Pendaki tidak terdeteksi dilembah yang dalam	Pendaki tidak terdeteksi dilembah yang dalam.

Tabel 9 membandingkan fitur antara sistem sebelumnya dan sistem yang baru dalam konteks *monitoring* pendaki gunung. Berikut adalah penjelasan dari perbandingan tersebut:

1. Deteksi Posisi Pendaki
 - a. Sistem sebelumnya Posisi pendaki hanya dapat terdeteksi pada titik-titik tertentu (misalnya di setiap pos pendakian). Hal ini mengakibatkan keterbatasan dalam pemantauan lokasi pendaki secara keseluruhan.
 - b. Sistem yang baru Posisi pendaki dapat terdeteksi secara *real-time*, memungkinkan pemantauan yang lebih kontinu dan akurat sepanjang perjalanan pendakian.
2. Kemampuan Meminta Bantuan
 - a. Sistem sebelumnya Pendaki tidak memiliki kemampuan untuk meminta bantuan dengan mudah ketika menghadapi kendala, karena sistem komunikasi atau pelaporan masalahnya terbatas.
 - b. Sistem yang baru Pendaki dapat meminta bantuan secara langsung ketika mengalami kendala, meningkatkan responsivitas tim penyelamat atau pengelola pendakian.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil penelitian, maka dapat diambil kesimpulan bahwa penelitian ini mendapatkan cara baru dalam *memonitoring* pendaki dan meningkatkan kualitas pelayanan pendakian gunung. Penelitian memberikan kebaruan dari sistem yang dibangun dan dirancang. Sistem yang dirancang melalui beberapa proses tahapan mulai dari mempertimbangkan sinyal dipuncak gunung, merancang alat yang mudah dibawa pendaki serta manfaat bagi pihak pengurus dan pengelola pendakian gunung. Sistem yang dibangun memiliki perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, hal tersebut tertuang dalam tabel kebaruan sistem *monitoring*.

Pihak pengelola pendakian gunung mengonfirmasi bahwa sistem yang dirancang sangat menarik untuk dilanjutkan ke tahap selanjutnya. Berdasarkan data yang diambil dari hasil wawancara evaluasi sistem yang baru Alat yang dirancang juga dapat dijadikan oleh pihak pengelola pendakian gunung dalam memperkenalkan sistem layanan khususnya di pendakian gunung kepada khalayak banyak. Terlebih dari itu penelitian ini juga telah mengevaluasi pola sistem *monitoring* pendaki yang sudah ada sebelumnya baik dari segi alat maupun perangkat lunak untuk layanan untuk pendaki yang dapat diterima oleh pihak TNGB.

REFERENSI

- [1] Y. Galiakbarov, O. Mazbayev, L. Mutaliyeva, V. Filimonau, and H. Sezerel, "When the mountains call: Exploring mountaineering motivations through the lens of the calling theory," *J. Outdoor Recreat. Tour.*, vol. 45, no. January, p. 100743, 2024, doi: 10.1016/j.jort.2024.100743.
- [2] F. P. Uditama, R. Pramananda, and M. Data, "Perancangan Aplikasi Pemantauan Pendaki Gunung Menggunakan Wireless Network Dengan Protokol MQTT," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. Univ. Brawijaya e-ISSN 2548-964X*, vol. 2 No 5, no. 5, pp. 2102–2108, 2018, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [3] F. Meutia and Y. T. Ningsih, "Hubungan Antara Mental Toughness Dan Risk Perception Pada Pendaki Gunung Pemula," *Edu Sociata J. Pendidik. Sociol.*, vol. 6, no. 1, pp. 543–553, 2023.
- [4] T. HIGUCHI, "Persepsi Risiko Keselamatan dalam Kegiatan Pendakian Gunung The," *J. Japan Soc. Precis. Eng.*, vol. 87, no. 12, pp. 947–947, 2021, doi: 10.2493/jjspe.87.947.
- [5] G. Merbabu, "Manfaat Ekonomi Wisata Pendakian Bagi Masyarakat Lokal dan Kelestarian Taman Nasional Gunung Merbabu."
- [6] I. Gunawan, M. Sadali, S. Suhartini, and I. Fathurrahman, "Perancangan Alat Dan Sistem Pemantauan Pendaki Gunung Berbasis Internet of Things (Iot)," *J. Tek. Inf. dan Komput.*, vol. 5, no. 2, p. 239, 2022, doi: 10.37600/tekinkom.v5i2.589.
- [7] N. W. Azhar and A. Ramadhani, "Rancang Bangun Soul Tracking Mobile Junction (STMJ) Sebagai Alat Pemantau Koordinat Penjelajah di Alam Berbasis Internet Of Things," *J. Tek. Elektro dan Komputasi*, vol. 5, no. 1, pp. 45–56, 2023, [Online]. Available: <http://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/ELKOM/article/view/7660>
- [8] W. Hadikristanto and G. T. Pranoto, "Sistem Pendukung Keputusan Untuk Menentukan Pendakian Gunung Terbaik Di Jawa Tengah Menggunakan Metode Saw (Simple Additive Weighting)," *Rabit J.*

- Teknol. dan Sist. Inf. Univrab*, vol. 8, no. 2, pp. 204–212, 2023, doi: 10.36341/rabit.v8i2.3557.
- [9] Balai Taman Nasional Gunung Merbabu, “Sistem Booking Online dan Gelang Ber-Chip Saat Mendaki di Gunung Merbabu.” [Online]. Available: <https://tngunungmerbabu.org/2019/06/17/sistem-booking-online-dan-pakai-gelang-ber-chip-saat-mendaki-di-gunung-merbabu/>
- [10] Lars dan Jens Eilstrup Rasmussen, “google maps.” [Online]. Available: www.google.com/maps/
- [11] Adam Schneider, “gps visualizer.” [Online]. Available: <https://www.gpsvisualizer.com/>
- [12] C. Cai *et al.*, “Integrating social values with GPS tracks through Denali National Park and Preserve,” *Appl. Geogr.*, vol. 155, no. March, p. 102958, 2023, doi: 10.1016/j.apgeog.2023.102958.
- [13] Y. Kunisada and C. Premachandra, “High Precision Location Estimation in Mountainous Areas Using GPS,” *Sensors*, vol. 22, no. 3, 2022, doi: 10.3390/s22031149.
- [14] T. N. Park, K. Taczanowska, and A. Muhar, “Application of GPS tracking for *monitoring* spatially unconstrained outdoor recreational activities in protected areas – A case study of ski touring in the,” vol. 96, no. January, pp. 51–65, 2018, doi: 10.1016/j.apgeog.2018.05.008.
- [15] Z. Huang, X. Zhou, W. Fang, and X. Chen, “Migration and wintering of vulnerable adult Chinese Egrets (*Egretta eulophotes*) revealed by GPS tracking,” *Avian Res.*, vol. 13, no. August, p. 100055, 2022, doi: 10.1016/j.avrs.2022.100055.
- [16] A. Waqar, I. Ahmad, D. Habibi, and Q. V. Phung, “Analysis of GPS and UWB positioning system for athlete tracking,” *Meas. Sensors*, vol. 14, no. December 2020, p. 100036, 2021, doi: 10.1016/j.measen.2020.100036.
- [17] J. Wojtusiak and R. Mogharab Nia, “Location prediction using GPS trackers: Can machine learning help locate the missing people with dementia?,” *Internet of Things (Netherlands)*, vol. 13, p. 100035, 2021, doi: 10.1016/j.iot.2019.01.002.
- [18] K. Pendidikan, D. A. N. Kebudayaan, U. Brawijaya, F. Teknik, and J. T. Elektro, “Analisis Tingkat Akurasi Implementasi Metode Great Circle Distance GPS Ublox Neo-6M Pada Sistem Pelacakan Dan Deteksi Sepeda Motor Dari Pencurian,” 2021.
- [19] L. W. Module, “E22-400TXXX Data Sheet”.
- [20] U-blox, “NEO-6 u-blox 6 GPS Modules,” *Www.U-Blox.Com*, p. 25, 2017, [Online]. Available: [https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_\(GPS.G6-HW-09005\).pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf)
- [21] M. S. R. Firmansyah, “Analisis Parameter Lora Pada Lingkungan Outdoor,” *Angew. Chemie Int. Ed. 6(11)*, 951–952., pp. 5–24, 1967.
- [22] S. Karim, Z. Hasanuddin, and M. Baharuddin, “Pengaruh Sinyal Terima Gps Untuk Aplikasi Land Mobile Satelit Pada Wilayah Urban Dan Sub Urban,” *ILTEK J. Teknol.*, vol. 11, no. 01, pp. 1531–1535, 2019, doi: 10.47398/iltek.v11i01.75.
- [23] Chengdu, “E22-900T22D User Manual,” 2018.
- [24] Y. P. Nugraha, “Aspek Keamanan Dan Keselamatan (Studi Kasus Kabupaten Gunung Kidul) Aspek Keamanan Dan Keselamatan (Studi Kasus Kabupaten Gunung Kidul),” 2022, [Online]. Available: <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/41011%0Ahttps://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/41011/15523063.pdf?sequence=1>
- [25] K. L. H. dan Kehutanan, “Sidaring Versi 2,” Direktorat Jendral Konservasi Sumber Daya Alam dan Ekosistem. [Online]. Available: <https://ksdae.menlhk.go.id/artikel/11610/SIDARING-Versi-2-Resmi-Meluncur.html>