



Tersedia Online : <http://e-journals.unmul.ac.id/>

ADOPSI TEKNOLOGI DAN SISTEM INFORMASI (ATASI)

Alamat Jurnal : <http://e-journals2.unmul.ac.id/index.php/atasi/index>



Rancang Bangun Sistem Pelacakan dan Pemantauan Hewan Peliharaan Berbasis *Internet of Things* Menggunakan *Global Positioning System*

Muhammad Hasan ^{1)*}, Fara Triadi ²⁾, Irwansyah ³⁾

Teknologi Rekayasa Komputer, Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Samarinda

E-Mail : hasanhasin20@gmail.com ¹⁾; fara_triadi@polnes.ac.id ²⁾; irwansyah@polnes.ac.id ³⁾;

ARTICLE INFO

Article history:

Received : 25/04/2026

Revised : 25/06/2026

Accepted : 02/07/2026

Available online : 31/08/2026

Keywords:

Pet

Internet of Things

GPS

LoRa

Geofencing

ABSTRACT

Pet owners' concerns about lost pets or pets straying outside of safe areas are a common problem that can be addressed through the application of Internet of Things (IoT) technology for near real-time monitoring. This study aims to design and implement a pet tracking and monitoring system that integrates GPS technology, LoRa wireless communication, and Geofencing features. The results of the study show that the system has been successfully implemented functionally, as evidenced by the high accuracy of GPS tracking, which recorded an average error of 0,4146% on the latitude axis and 0,0048% on the longitude axis. LoRa technology was also successfully used for wireless data communication, where signal testing showed significant attenuation with increasing distance, from -76 dBm (20 meters) to -116 dBm (200 meters). In addition, the polygon-based Geofencing feature was able to function in detecting specified area boundaries. All location data and geofence status were successfully transmitted and stored in real-time to the Firebase Realtime Database, enabling effective data visualization by users through the monitoring dashboard.

Kata Kunci :

Hewan Peliharaan

Internet of Things

GPS

LoRa

Geofencing

ABSTRAK

Kekhawatiran pemilik akan hewan peliharaan yang hilang atau keluar dari area aman menjadi masalah umum yang dapat diatasi melalui penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan *near real-time*. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem pelacakan dan pemantauan hewan peliharaan yang mengintegrasikan teknologi GPS, komunikasi nirkabel LoRa, dan fitur Geofencing. Hasil penelitian menunjukkan sistem telah berhasil diimplementasikan secara fungsional, dibuktikan dengan akurasi pelacakan GPS yang mencatatkan *error* rata-rata 0,4146% pada sumbu latitude dan 0,0048% pada sumbu longitude. Teknologi LoRa juga berhasil digunakan untuk komunikasi data nirkabel, di mana pengujian sinyal menunjukkan pelemahan yang signifikan seiring bertambahnya jarak, dari -76 dBm (20 meter) menjadi -116 dBm (200 meter). Selain itu, fitur Geofencing berbasis poligon mampu berfungsi dalam mendeteksi batas area yang ditentukan. Seluruh data lokasi dan status *geofence* berhasil dikirimkan dan disimpan secara *real-time* ke Firebase Realtime Database, memungkinkan visualisasi data yang efektif oleh pengguna melalui *dashboard* pemantauan.

2026 Adopsi Teknologi dan Sistem Informasi (ATASI) with CC BY SA license.

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi Internet of Things (IoT) telah mendorong perubahan besar di berbagai sektor, tidak terkecuali dalam bidang perawatan hewan peliharaan (*pet care*). *IOT* memungkinkan perangkat terhubung dan bertukar data secara *real-time*, sehingga memudahkan pemantauan dan pengelolaan hewan peliharaan (Al-Fuqaha *et al.*, 2015). Salah satu aplikasi *IOT* yang semakin populer adalah sistem pelacakan hewan peliharaan, yang membantu pemilik mengawasi pergerakan hewan mereka secara lebih efektif. Dengan integrasi teknologi

*) Corresponding Author

<https://doi.org/10.30872/atasi.v5i2.4591>

seperti *Global Positioning System (GPS)* dan *LoRa (Long Range)*, sistem ini dapat memberikan informasi lokasi yang akurat dan jangkauan komunikasi yang luas dengan konsumsi daya rendah (Augustin *et al.*, 2016).

Hewan peliharaan, seperti anjing dan kucing, sering kali memiliki kecenderungan untuk menjelajah atau bahkan kabur dari rumah, sehingga berisiko hilang atau mengalami kecelakaan. Menurut American Humane Association, sekitar 10 juta hewan peliharaan hilang setiap tahun di Amerika Serikat, dan hanya 15% di antaranya yang berhasil dikembalikan kepada pemiliknya (American Humane Society, 2021). Kondisi ini menunjukkan pentingnya solusi teknologi yang dapat meminimalkan risiko kehilangan hewan peliharaan. Sistem pelacakan berbasis *IOT* dapat menjadi jawaban atas permasalahan ini dengan memberikan notifikasi *Near Real-Time* ketika hewan meninggalkan area aman.

Salah satu tantangan dalam pengembangan sistem pelacakan hewan peliharaan adalah keterbatasan jangkauan dan efisiensi daya. Teknologi komunikasi konvensional seperti Wi-Fi atau Bluetooth memiliki jangkauan terbatas, sementara seluler (GSM) mengonsumsi daya tinggi. *LoRa* hadir sebagai solusi dengan menawarkan komunikasi jarak jauh dan konsumsi daya yang rendah. Selain itu, fitur *Geofencing* memungkinkan pemilik menetapkan batas virtual dan menerima peringatan jika hewan peliharaan keluar dari zona yang ditentukan, sehingga meningkatkan efektivitas pengawasan.

Meskipun sudah ada beberapa produk komersial pelacak hewan peliharaan, kebanyakan masih bergantung pada jaringan seluler dengan biaya operasional tinggi dan kurang optimal dalam hal akurasi serta fitur. Maka dari itu, riset ini difokuskan pada perancangan sistem pelacak dan pemantau hewan peliharaan berbasis IoT yang terintegrasi dengan GPS untuk akurasi lokasi, *LoRa* untuk komunikasi jarak jauh hemat daya, serta *Geofencing* untuk pemberitahuan dini. Dengan demikian, sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi alternatif dan terjangkau bagi pemilik hewan peliharaan.

2. TINJAUAN PUSAKA

A. Penelitian Terdahulu

(Arta *et al.*, 2022), mengembangkan sistem *Animal Tracking* Berbasis IoT menggunakan GPS NEO-6M, NodeMCU ESP8266, Firebase, dan platform Kodular. Sistem berhasil menampilkan koordinat hewan secara *real-time* dengan akurasi tinggi dan *delay* rata-rata 4,6 detik. Namun, sistem ini memiliki keterbatasan signifikan karena menggunakan WiFi langsung dari perangkat *tracker* ke Firebase, sehingga jangkauan pelacakan sangat terbatas pada area yang terdapat sinyal WiFi. Selain itu, sistem ini tidak dilengkapi fitur *Geofencing* maupun pencatatan riwayat perjalanan. (Arta *et al.*, 2022)

(Kweon, An and Kim, 2023), mengimplementasikan aplikasi IoT dengan teknologi *Geofencing* untuk manajemen kawasan pegunungan menggunakan GPS, sensor gyroscope, sensor suhu dan kelembaban, serta komunikasi LoRa. Sistem berhasil memantau kondisi lingkungan secara akurat dan memberikan peringatan dini, serta dapat diakses melalui perangkat *mobile* untuk pemantauan kapan saja. Namun, penelitian ini berfokus pada monitoring area (kawasan gunung) secara statis dan bukan pelacakan objek individu yang bergerak dinamis, serta tidak menyediakan dasbor interaktif untuk manajemen *geofence* per individu maupun riwayat perjalanan.

(Setiawan, Sari and Hardyanto, 2021), mengembangkan sistem pelacak hewan peliharaan berbasis Android menggunakan GPS U-Blox Neo 6M, SIM800L untuk pengiriman data via GPRS, dan Arduino Pro Mini. Sistem berhasil mendeteksi keberadaan hewan dan memberikan notifikasi ketika hewan keluar dari batas *Geofencing* yang telah ditentukan pada jarak 5–50 meter. Meskipun demikian, penggunaan GPRS menimbulkan ketergantungan pada sinyal seluler dan biaya operasional yang tidak dapat dihindari. Selain itu, platform Arduino yang digunakan dinilai kurang *powerful* dibandingkan mikrokontroler generasi terbaru.

Berdasarkan kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu, terdapat beberapa *gap* yang belum terjawab. Pertama, sistem pelacakan hewan yang ada umumnya masih bergantung pada WiFi atau jaringan GPRS/seluler yang membatasi jangkauan dan menimbulkan biaya operasional. Kedua, fitur *Geofencing* berbasis poligon yang lebih fleksibel untuk pelacakan hewan peliharaan secara individual belum banyak dieksplorasi. Ketiga, integrasi antara komunikasi LoRa jarak jauh, notifikasi ganda (visual dan *buzzer* fisik), serta dasbor *cross-platform* yang lengkap belum ditemukan pada penelitian sebelumnya. Penelitian ini hadir untuk menjawab *gap* tersebut dengan mengintegrasikan GPS NEO-M8N, LoRa RA-02, dan *Geofencing* poligon dalam satu sistem yang hemat daya dan terjangkau, tanpa ketergantungan pada infrastruktur seluler.

B. Hewan Peliharaan

Hewan peliharaan adalah hewan yang dipelihara untuk memberikan kesenangan dan persahabatan pada manusia, serta memiliki hubungan timbal balik dengan pemiliknya. Memelihara hewan memiliki berbagai manfaat bagi manusia, termasuk dukungan emosional, peningkatan aktivitas fisik, dan pengurangan stres. Namun, salah satu tantangan utama dalam pemeliharaan hewan adalah memastikan keselamatan dan keamanan mereka, terutama mencegah hewan peliharaan tersesat atau hilang. (Serpell, 2013)

C. ESP32

ESP32 merupakan chip yang dilengkapi WiFi 2,4 GHz dan Bluetooth, dibangun dengan teknologi proses 40 nm guna menghasilkan performa radio serta efisiensi daya yang optimal. Chip ini menawarkan ketahanan,

<https://doi.org/10.30872/atasi.v5i2.4591>

fleksibilitas, dan keandalan tinggi di berbagai aplikasi dan skenario daya. Sebagai modul mikrokontroler dengan dukungan WiFi dan Bluetooth dual-mode, ESP32 memudahkan pengguna dalam mengembangkan beragam sistem dan proyek berbasis Internet of Things (IoT). (Espressif Systems, 2020)

D. Modul Ublox NEO-M8N

Modul u-blox NEO-M8N merupakan salah satu modul *Global Navigation Satellite System* (GNSS) banyak digunakan dalam aplikasi pelacakan posisi, navigasi, dan sistem berbasis lokasi karena sensitivitas tinggi, konsumsi daya rendah, dan waktu akuisisi yang cepat. (u-blox, 2014)

E. Modul LoRa Ra-02 SX1278

Modul *LoRa RA-02* adalah modul komunikasi nirkabel yang menggunakan chip SX1278 dari Semtech. Modul ini banyak digunakan karena kemampuannya untuk mentransmisikan data hingga jarak beberapa kilometer dengan daya transmisi yang rendah. (Semtech, 2024)

F. Global Positioning System (GPS)

Global Positioning System (GPS) adalah sistem navigasi berbasis satelit yang dikembangkan, dimiliki, dan dikelola oleh Departemen Pertahanan Amerika Serikat. GPS menentukan lokasi, kecepatan, dan waktu dalam tiga dimensi (lintang, bujur, dan ketinggian) di seluruh permukaan Bumi, terlepas dari cuaca atau waktu. Sistem ini dapat digunakan secara bersamaan oleh banyak pengguna. (Mappadang et al., 2023)

G. Long Range

Long Range adalah teknologi komunikasi jarak jauh berdaya rendah berbasis spektrum penyebaran yang diperkenalkan Semtech pada 2013. Meski kecepatan datanya rendah akibat penggunaan pita Sub-GHz, hal ini membuat baterai lebih hemat dan jaringan lebih efisien. LoRa juga unggul dalam menembus rintangan, sehingga mampu mencakup wilayah luas, termasuk di area perkotaan yang padat. Sifat-sifat inilah yang membuat LoRa ideal untuk penerapan besar-besaran dengan anggaran rendah. (Wang, 2017)

H. Geofencing

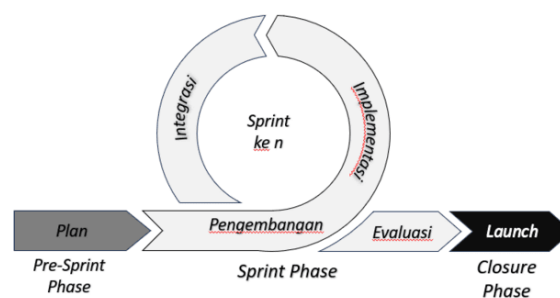
Geofencing merupakan teknologi berbasis lokasi yang mendefinisikan batas-batas virtual di suatu wilayah geografis dalam peta digital dengan menggunakan sistem GPS, RFID, Wi-Fi, atau jaringan seluler. Mekanisme ini memungkinkan sistem untuk secara otomatis mengeksekusi tindakan spesifik—seperti pengiriman pemberitahuan, pengaktifan alarm, atau pencatatan data mobilitas—ketika perangkat yang terhubung (smartphone, kendaraan, atau perangkat IoT) terdeteksi memasuki atau meninggalkan zona yang telah dikonfigurasi. (Kumar and Mallick, 2018)

I. Firebase

Firebase merupakan platform BaaS (*Backend as a Service*) buatan Google yang menyediakan beragam layanan backend siap pakai. Tujuannya adalah mempermudah dan mempercepat proses pembangunan aplikasi mobile, sehingga developer dapat lebih fokus mengembangkan sisi klien (web dan mobile) tanpa harus repot mengelola infrastruktur backend yang kompleks. (Firebase & Google Cloud, 2014).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode Scrum, sebuah kerangka kerja Agile yang dirancang untuk pengembangan berulang dan adaptif. Menurut (Alsaqqa, Sawalha and Abdel-Nabi, 2020), Scrum memprioritaskan penyampaian *increment* produk dalam waktu singkat melalui mekanisme manajemen yang sederhana namun efektif. Pengerjaan dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan utama yang terstruktur, mulai dari *The Pre-Sprint Phase* (Fase Perencanaan Awal) yang berfokus pada identifikasi kebutuhan dan perancangan arsitektur sistem, dilanjutkan dengan *The Sprint Phase* (Fase Pengembangan Iteratif) di mana produk dikembangkan secara incremental berdurasi tetap (2–4 minggu), dan diakhiri dengan *The Closure Phase* (Fase Penutupan) yang mencakup pengujian, evaluasi, dan finalisasi proyek.



Gambar 1. Tahapan Penelitian Agile Scrum

A. The Pre-Sprint Phase (Fase Perencanaan Awal)

The *Pre-Sprint Phase* adalah fase awal untuk merencanakan dan membangun fondasi penelitian sebelum pengembangan iteratif dimulai. Pada tahap ini, hasil perencanaan dituangkan dalam Product Backlog awal yang berisi daftar fitur fungsional sistem. Selanjutnya, arsitektur sistem yang meliputi perangkat keras, perangkat lunak, serta alur data dirancang dan diimplementasikan secara awal. Tahap ini diakhiri dengan penyiapan dan pengujian lingkungan pengembangan untuk memastikan seluruh komponen berjalan sesuai rencana..

B. The Sprint Phase (Fase Pengembangan Iteratif)

Fase Inti Pengembangan Produk dilakukan dalam beberapa siklus iterasi yang disebut Sprint, masing-masing berdurasi 4 minggu dan bertujuan menghasilkan increment produk yang fungsional. Sprint pertama berfokus pada pengembangan prototipe dasar dan validasi komunikasi LoRa melalui perakitan perangkat keras unit Tracker dan Master menggunakan mikrokontroler ESP32 dan modul LoRa RA-02 untuk membangun serta memvalidasi fondasi komunikasi nirkabel jarak jauh sebagai basis pengiriman data. Meliputi integrasi modul GPS NEO-M8N dengan unit Tracker dan pengembangan firmware untuk akuisisi data koordinat, guna memastikan sistem mampu menangkap data lokasi secara akurat dan mengirimkannya melalui jaringan LoRa yang telah divalidasi. Sprint kedua mencakup implementasi backend Firebase dan antarmuka aplikasi dengan mengonfigurasi unit Master agar terhubung ke internet melalui WiFi dan mengirimkan data lokasi ke Firebase Realtime Database, sehingga terbangun alur data end-to-end dari perangkat ke cloud serta ditampilkan pada antarmuka aplikasi mobile yang dikembangkan menggunakan Capacitor JS. Sprint ketiga berisi implementasi fitur geofencing dan sistem notifikasi melalui pengembangan algoritma geofencing yang memungkinkan pengguna menetapkan batas virtual (zona aman) melalui antarmuka aplikasi; ketika sistem mendeteksi pelanggaran batas area, sebuah sistem notifikasi ganda akan terpicu secara otomatis berupa alarm visual dan suara pada dasbor pemantauan, serta secara bersamaan gateway mengirimkan perintah melalui jaringan LoRa untuk mengaktifkan alarm suara (buzzer) pada perangkat pelacak.

C. The Closure Phase (Fase Penutupan)

Tahap Penutupan (*Closure Phase*) adalah tahap akhir penelitian yang berfokus pada validasi sistem dan penyelesaian proyek. Kegiatan meliputi pengujian fungsionalitas komponen hardware dan software, dilanjutkan uji lapangan pada objek penelitian untuk mengevaluasi performa sistem dalam kondisi nyata (stabilitas komunikasi, akurasi data, dan keandalan pemantauan *near real-time*). Hasil observasi dianalisis secara kualitatif untuk menilai kemudahan penggunaan, kejelasan antarmuka, dan efektivitas sistem secara keseluruhan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. The Pre-Sprint Phase (Fase Perencanaan Awal)

a) Perencanaan dan Penjadwalan Penelitian

Perencanaan dan penjadwalan penelitian ini disusun menggunakan kerangka Agile Scrum dengan total durasi penelitian selama empat bulan (16 minggu). Jadwal ini memetakan aktivitas utama dari fase perencanaan (*Pre-Sprint*), tiga Sprint pengembangan iteratif, hingga fase penutupan (*Closure*).

Tabel 1. Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No.	Fase Kegiatan	Jangka Waktu
Pre-Sprint Phase (2 Minggu)		
1	Perencanaan & Desain Sistem Penyusunan <i>Product Backlog</i>	2 Minggu
Sprint Phase 1 Pengembangan&Validasi Sensor (4 Minggu)		
2	Pengujian Modul&Sensor Perakitan Perangkat Keras Pengujian Keseluruhan Perangkat	4 Minggu
Sprint Phase 2 Integrasi Cloud & Antarmuka (4 Minggu)		
3	Implementasi Koneksi Internet pada unit Master Via WiFi Integrasi Firebase Realtime Database Pengembangan Aplikasi Mobile Pengujian Keseluruhan Perangkat&Aplikasi	4 Minggu
Sprint Phase 3 Geofencing dan Notifikasi Ganda (4 Minggu)		
4	Implementasi Algoritma Geofencing Implementasi Notifikasi Ganda Pengujian Keseluruhan Sistem	4 Minggu
5	Closure Phase (2 Minggu) - Analisis Hasil	2 Minggu

b) Product Backlog

Product Backlog berisi daftar fitur serta aktivitas yang harus diselesaikan selama pengembangan sistem pelacakan hewan berbasis IoT, GPS, LoRa, dan geofencing. Seluruh *backlog* dibagi ke dalam tiga sprint utama agar proses pengembangan dapat berjalan secara iteratif, terukur, dan fleksibel sesuai dengan prinsip yang diterapkan.

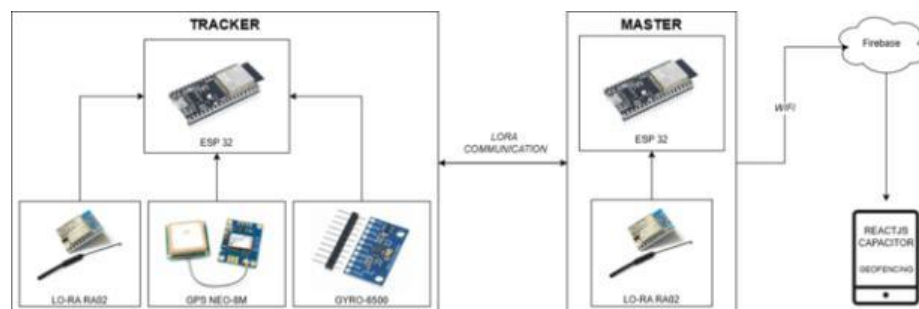
Tabel 2. Product Backlog

No.	Aktivitas	Tujuan	Prioritas	Sprint
1	Sebagai pengembang, saya ingin merakit dan memvalidasi komunikasi LoRa antara unit Tracker dan Master	Untuk memastikan komunikasi nirkabel jarak jauh antarperangkat berfungsi dengan baik sebagai dasar pengiriman data	High	Sprint 1
2	Sebagai pengembang, saya ingin mengintegrasikan modul GPS NEO-M8N ke unit Tracker	Agar sistem mampu memperoleh koordinat lokasi (latitude, longitude) secara akurat	High	Sprint 1
3	Sebagai pengembang, saya ingin mengintegrasikan sensor gerak MPU6500 dan melakukan pengujian fungsional tiap sensor	Untuk menambah fitur pendeteksi aktivitas serta memverifikasi keakuratan pembacaan dari tiap sensor (LoRa, GPS, MPU)	High	Sprint 1
4	Sebagai pengembang, saya ingin melakukan pengujian jangkauan dan reliabilitas komunikasi LoRa	Untuk memastikan sistem mampu mentransmisikan data secara stabil dalam berbagai jarak dan kondisi lingkungan	Medium	Sprint 1
5	Sebagai pengembang, saya ingin mengimplementasikan koneksi internet pada unit Master via WiFi	Agar unit Master dapat mengirimkan data lokasi dari LoRa ke cloud	High	Sprint 2
6	Sebagai pengembang, saya ingin membangun backend menggunakan Firebase Realtime Database	Untuk menyimpan dan menyalurkan data posisi hewan secara near real-time ke aplikasi	High	Sprint 2
7	Sebagai pengembang, saya ingin mengembangkan antarmuka aplikasi mobile menggunakan Capacitor JS	Agar pengguna dapat memantau lokasi hewan secara visual melalui peta	High	Sprint 2
8	Sebagai pengembang, saya ingin mengimplementasikan algoritma Geofencing pada aplikasi mobile	Untuk memungkinkan pengguna menetapkan zona aman (batas virtual)	High	Sprint 3
9	Sebagai pengembang, saya ingin membangun sistem notifikasi ganda (visual & suara)	Untuk memberikan peringatan otomatis saat hewan keluar dari zona aman	High	Sprint 3
10	Sebagai pengembang, saya ingin melakukan pengujian keseluruhan sistem (end-to-end)	Untuk memastikan sistem pelacakan bekerja stabil, near real-time, dan efisien	Low	Sprint 3

c) Desain Sistem

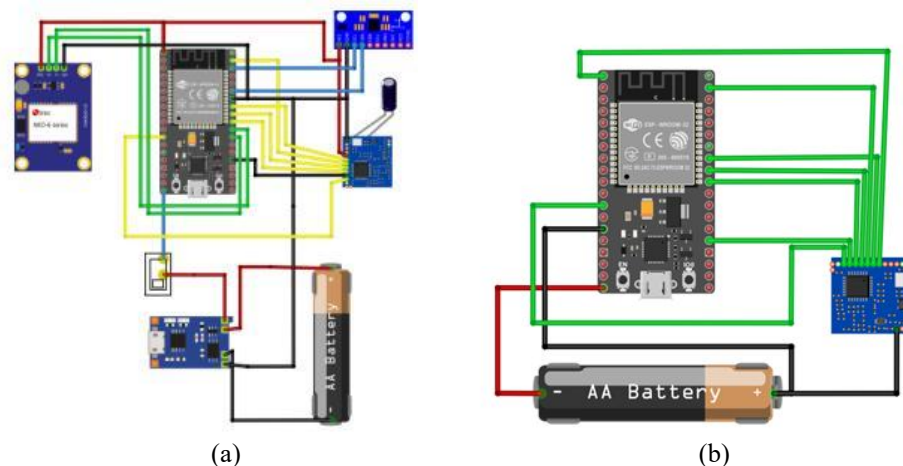
1). Blok Diagram

Sistem beroperasi melalui tiga komponen utama yang saling terintegrasi: Perangkat Pelacak (Tracker), Gateway (Master), dan Aplikasi Antarmuka Pengguna (Dashboard). Perangkat Tracker yang terpasang pada hewan berfungsi untuk mengumpulkan data lokasi dari modul GPS dan mengirimkannya via komunikasi nirkabel jarak jauh menggunakan LoRa. Data tersebut diterima oleh Gateway (Master) yang menjembatani koneksi ke internet via WiFi, untuk kemudian diteruskan dan disimpan di Firebase Realtime Database. Aplikasi Dashboard yang dikembangkan dengan Capacitor JS mengambil data dari Firebase tersebut untuk memvisualisasikan pergerakan hewan pada peta OpenStreetMap.



Gambar 2. Blok Diagram

2). Perancangan Hardware



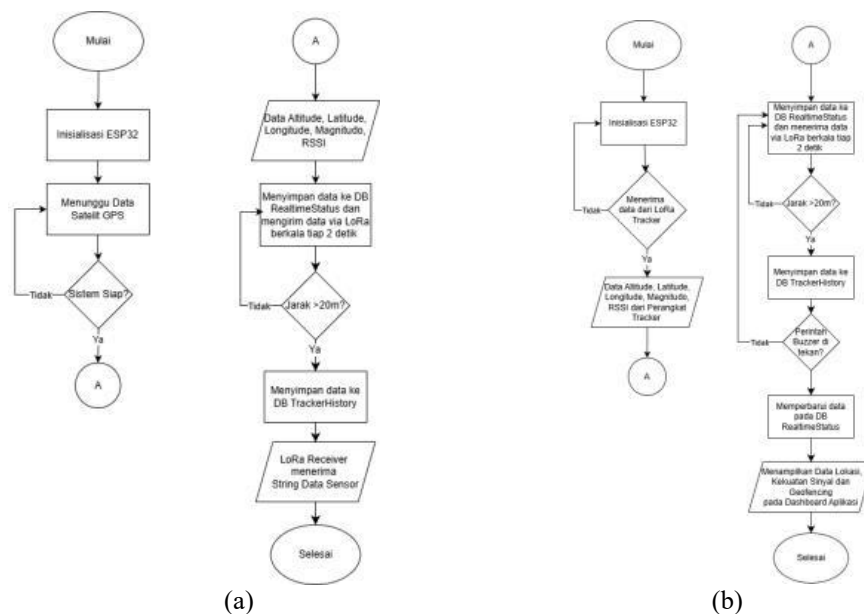
Gambar 3. (a) Wiring diagram perangkat Tracker
(b) Wiring diagram perangkat Master

Penjelasan dari gambar rancangan diatas:

(a) Modul GPS NEO-M8N terhubung melalui pin serial GPIO17 (RX2) dan GPIO16 (TX2) untuk memperoleh data koordinat lokasi secara near real-time. Sementara itu, sensor Akselerometer (MPU-6500) berkomunikasi dengan ESP32 melalui jalur I2C menggunakan pin GPIO21 (SDA) dan GPIO22 (SCL). Data dari kedua sensor tersebut kemudian dikirim secara nirkabel menggunakan modul LoRa, yang terhubung ke ESP32 melalui antarmuka SPI. Seluruh sistem mendapatkan suplai daya dari baterai isi ulang yang dikelola oleh modul charger TP4056, dengan saklar utama yang berfungsi untuk mengontrol aliran daya menuju pin VIN ESP32 sebagai pengatur hidup-mati perangkat.

(b) Pin VCC LoRa dihubungkan ke 3,3V, dan GND ke GND. Jalur komunikasi menggunakan antarmuka SPI dengan pengaturan pin sebagai berikut: MISO ke GPIO19, MOSI ke GPIO23, SCK ke GPIO18, dan NSS (CS) ke GPIO5. Selain itu, pin DIO0 terhubung ke GPIO2, dan RESET ke GPIO14 untuk mendukung fungsi kontrol modul LoRa secara optimal.

3). Diagram Alir



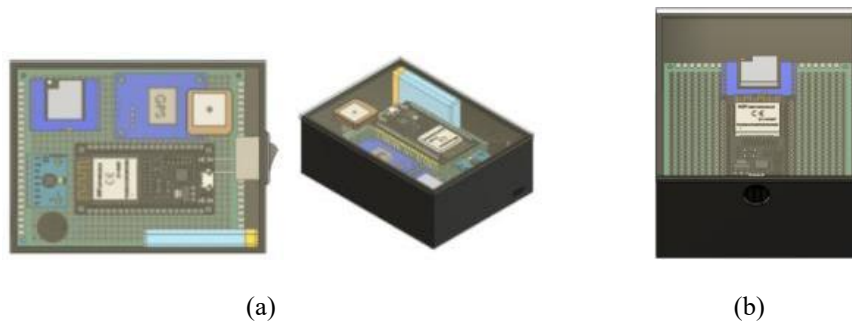
Gambar 4. (a) Diagram Alir perangkat Tracker
(b) Diagram Alir perangkat Master

Penjelasan dari gambar diatas:

(a) Saat perangkat dinyalakan, ESP32 melakukan inisialisasi awal lalu menunggu hingga data GPS valid. Setelah GPS terkunci, sistem memasuki siklus operasional utama. Setiap 2 detik, sistem membaca data sensor (altitude, latitude, longitude, magnitudo, RSSI), menyimpannya ke database *RealtimeStatus*, dan mengirimkannya melalui LoRa. Jika jarak pergerakan dari titik terakhir melebihi 20 meter, sistem juga menyimpan data ke database *TrackerHistory* sebagai catatan histori. Seluruh data yang dikirimkan tracker diterima oleh *LoRa Receiver*, dan proses dinyatakan selesai.

(b) Flowchart menggambarkan alur kerja perangkat Master. Saat diaktifkan, ESP32 menginisialisasi modul LoRa lalu masuk ke loop utama menunggu data dari Tracker. Jika tidak ada data, sistem terus siaga. Begitu data diterima (Altitude, Latitude, Longitude, Magnitudo, RSSI), sistem menyimpannya ke Firebase pada path *RealtimeStatus* agar dashboard mendapat pembaruan terkini (data dikirim tiap 2 detik dari tracker). Selanjutnya, sistem membandingkan data baru dengan histori terakhir; jika pergerakan signifikan, data juga disimpan ke *TrackerHistory*. Sistem kemudian memeriksa database untuk mendeteksi perintah buzzer dari pengguna. Jika ada perintah, sistem memperbarui *RealtimeStatus* untuk memicu pengiriman perintah *downlink* kembali ke tracker. Seluruh data yang diproses ditampilkan pada dashboard aplikasi untuk pemantauan pengguna, lalu sistem kembali ke loop awal menunggu paket data berikutnya.

4). Desain 3D Perangkat



Gambar 5. (a) Desain 3D Perangkat Tracker
(b) Desain 3D Perangkat Master

Penjelasan dari gambar diatas:

(a) Perangkat keras yang dirancang sebagai unit *Tracker* adalah sebuah purwarupa sistem pelacak hewan yang terintegrasi. Perangkat ini memiliki dimensi fisik $p=10\text{ cm} \times l=7,5\text{ cm} \times t=3,5\text{ cm}$, membuatnya cukup ringkas dan portabel.

(b) Perangkat keras yang dirancang sebagai unit Master ini adalah sebuah purwarupa gateway penerima data. Perangkat ini didesain dengan dimensi fisik $p=11\text{ cm} \times l=8\text{ cm} \times t=5\text{ cm}$, membuatnya ringkas dan mudah ditempatkan di dalam ruangan.

B. The Sprint Phase (Fase Pengembangan Iteratif)

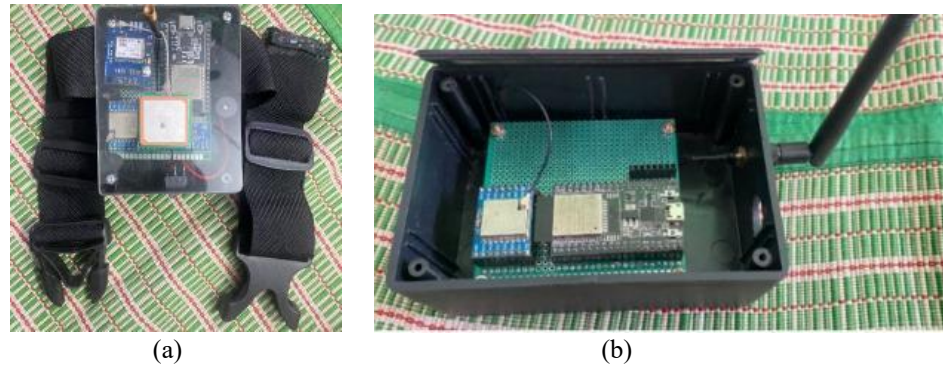
a) Sprint 1 – Pengembangan dan Validasi Sistem

1). Validasi Sensor dan Komunikasi

Modul GPS NEO-M8N divalidasi kinerjanya pada area terbuka dan berhasil mengunci (lock) sinyal satelit dengan menampilkan nilai latitude dan longitude dari lokasi pengujian. Sensor gerak MPU6500 sukses dikonfigurasi melalui jalur I2C untuk membaca data akselerometer dan giroskop dengan tingkat respons yang cepat terhadap perubahan posisi fisik. Untuk media komunikasi, modul LoRa RA-02 diuji dalam mode point-to-point dan terbukti mampu mentransmisikan paket data secara konstan tanpa adanya kehilangan data (packet loss)

2). Perakitan Perangkat Keras

Unit *Tracker* dirancang secara kompak dengan mengintegrasikan ESP32 Devkit V1, LoRa-02, GPS NEO-M8N, sensor MPU6500, serta baterai Li-Po 2500 mAh. Unit ini memiliki dimensi akhir $10 \times 7,5 \times 3,5\text{ cm}$ dengan bobot total 180 gram. Sementara itu, unit *Master* dirakit menggunakan komponen minimalis berupa ESP32 Devkit V1 dan modul LoRa-02, menghasilkan dimensi perangkat $11 \times 8 \times 5\text{ cm}$ dengan bobot 50 gram.



Gambar 6. (a) Perangkat Tracker terpasang pada Casing
(b) Perangkat Master terpasang pada Casing

3). Hasil Pengujian Terpadu

Pengujian integrasi fungsional menunjukkan bahwa seluruh komponen elektronik dapat diinisialisasi secara harmonis tanpa mengalami konflik jalur komunikasi bus maupun pin mikrokontroler. Detail hasil pengujian tunda (*delay*) dan status komponen pada Sprint 1 disajikan dalam Tabel 3.

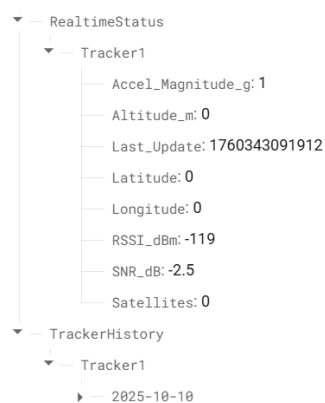
Tabel 3. Hasil Pengujian Sprint 1

Komponen	Status Inisialisasi	Status Pembacaan Data	Delay rata-rata (ms)	Keterangan
GPS NEO-M8N	Berhasil	Stabil	1000	Data lokasi terbaca konsisten
MPU6500	Berhasil	Stabil	500	Data gyroscope dan accelometer terbaca
LoRa RA-02	Berhasil	Stabil	500	Siap mengirim data
Keseluruhan Sistem	OK	OK	±2000	Tidak ada konflik komunikasi

b) Sprint 2 – Integrasi Cloud dan Antarmuka Aplikasi

1). Konektivitas Cloud

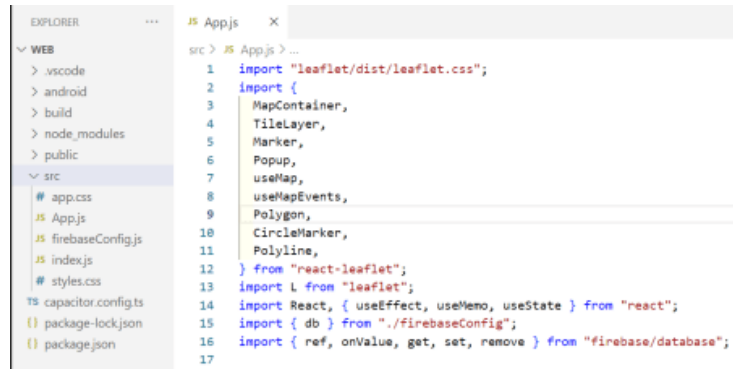
Unit *Master* dikonfigurasi agar dapat terhubung ke jaringan internet nirkabel memanfaatkan modul WiFi internal bawaan chip ESP32. Perangkat terbukti sukses memperoleh alamat IP secara otomatis untuk membangun komunikasi HTTP yang stabil menuju *Firestore Realtime Database*. Struktur database disiapkan secara near real-time untuk mencatat dan mengorganisasikan perubahan koordinat lokasi dari unit pelacak.



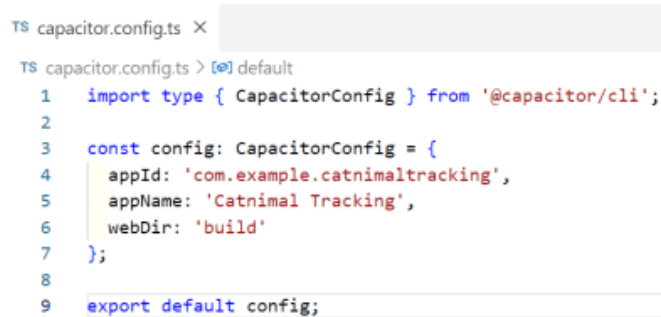
Gambar 7. Struktur Realtime Database

2). Pengembangan Aplikasi Mobile

Aplikasi pada *smartphone* pengguna dibangun menggunakan *framework* Capacitor JS guna mempermudah konversi berbasis web menjadi aplikasi mobile yang responsif dan mampu mendukung fitur *native*. Visualisasi koordinat posisi hewan peliharaan memanfaatkan peta digital dari OpenStreetMap (OSM) yang dirender secara optimal menggunakan pustaka Leaflet.js.



Gambar 8. Struktur Utama Project



Gambar 9. Capacitor Config

- 3). Hasil Pengujian Sprint 2
Pengujian integrasi dilakukan untuk mengevaluasi stabilitas pengiriman data secara menyeluruh. Matriks evaluasi hasil pengujian performa fungsional pada tahapan Sprint 2 disajikan secara ringkas pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sprint 2

Aspek Pengujian	Metode Uji	Hasil Pengamatan	Kesimpulan
Koneksi WiFi	Uji kestabilan koneksi 30 menit	Stabil tanpa disconnect	Lolos
Firebase Database	Uji delay write/read data	Rata-rata delay ± 2 detik	Lolos
Peta OSM (Leaflet)	Uji pembaruan marker	Posisi hewan diperbarui otomatis	Lolos
Aplikasi Capacitor JS	Uji runtime pada Android 15	Berjalan lancar dan responsif	Lolos
Alur End-to-End	Tracker $\rightarrow$ LoRa $\rightarrow$ Master $\rightarrow$ Firebase $\rightarrow$ App	Data near real-time dan sinkron	Lolos

c) Sprint 3 – Geofencing dan Notifikasi Ganda

1). Implementasi Algoritma Geofencing

Pengamanan area menggunakan metode pembatasan koordinat poligon virtual di atas peta digital. Algoritma yang diterapkan adalah *Point-in-Polygon*, yang bekerja dengan membandingkan titik koordinat GPS aktual yang dikirim perangkat *Tracker* terhadap batas-batas garis poligon zona aman yang telah digambar oleh pengguna di aplikasi dan disimpan dalam Firebase. Fitur geofencing ini menyediakan kontrol penuh bagi pengguna untuk: (1) membuat area pagar baru, (2) memperbarui dimensi batas luar area, dan (3) menghapus data pagar virtual yang sudah tidak terpakai. Status deteksi posisi ("Di Dalam Zona" atau "Di Luar Zona") akan diperbarui secara otomatis pada halaman utama dasbor aplikasi.

2). Mekanisme Notifikasi Ganda

Peringatan dini dirancang untuk aktif secara simultan ketika sistem mendeteksi koordinat hewan peliharaan telah melewati batas poligon zona aman. Respons darurat ini berupa alarm visual yang muncul pada dasbor aplikasi seluler, diikuti oleh peringatan berbasis suara pada sistem *smartphone*. Bersamaan dengan itu, unit *Master* akan mengirimkan instruksi darurat secara nirkabel melalui jaringan LoRa menuju perangkat *Tracker* untuk langsung mengaktifkan komponen penanda suara (*buzzer fisik*) yang terpasang pada unit Tracker.

3). Pengujian *Geofencing*

Pengujian end-to-end pada aplikasi Capacitor JS (peta OpenStreetMap) memvalidasi fitur geofencing dan notifikasi ganda. Pengguna menetapkan zona aman berbasis radius GPS. Saat koordinat di luar zona, sistem memicu notifikasi visual dan suara di aplikasi mobile sekaligus mengirim perintah downlink via LoRa dari Master ke buzzer Tracker.

Tabel 5. Pengujian Geofencing

Koordinat (Lat, Long)	Status Lokasi	Respons (Detik)	Notifikasi Visual	Notifikasi Suara	Buzzer Tracker	Keterangan
(-5,4758, 117,12108)	Dalam zona aman	-	Tidak Aktif	Tidak Aktif	Tidak Aktif	Normal
(-5,4761, 117,12080)	Tepat di batas zona	-	Tidak Aktif	Tidak Aktif	Tidak Aktif	Normal
(-5,4775, 117,12098)	Di luar zona aman	2	Aktif	Aktif	Aktif	Sesuai Ekspektasi
(-5,4758, 117,12108)	Kembali ke zona aman	2	Aktif	Aktif	Aktif	Notifikasi tidak berhenti otomatis, harus ditekan tombolnya

C. *The Closure Phase (Fase Penutupan)*

a) Pengujian Keakuratan GPS

Dilakukan sebanyak 10 kali di area penelitian. Tingkat akurasi diukur dengan membandingkan nilai latitude dan longitude dari perangkat Tracker terhadap data acuan dari aplikasi Google Maps pada smartphone. Untuk menghitung tingkat akurasi perangkat, dilakukan perhitungan persentase selisih (error) menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Persentase Selisih} = \frac{(|\text{Nilai Terukur} - \text{Nilai Acuan}|)}{|\text{Nilai Acuan}|} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

Nilai Terukur : Titik koordinat yang diperoleh dari perangkat Tracker.

Nilai Acuan : Titik koordinat yang diperoleh dari aplikasi Google Maps.

Berdasarkan perhitungan dari 10 kali pengujian, perangkat menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi dengan rata-rata persentase selisih sebesar 0,4146% untuk *latitude* dan 0.0048% untuk *longitude*.

Tabel 6. Tabel Data Hasil Uji Kemampuan Pelacakan GPS

Percobaan ke-	Data Uji		Data Referensi		Tingkat Deviasi	
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
1	-0,547488	117,12094	-0,547531	117,120876	0.7853%	0.0055%
2	-0,547498	117,120928	-0,547531	117,120876	0.6027%	0.0044%
3	-0,547501	117,12091	-0,547531	117,120876	0.5479%	0.0029%
4	-0,547491	117,120925	-0,547531	117,120876	0.7306%	0.0042%
5	-0,547489	117,120931	-0,547531	117,120876	0.7671%	0.0047%
6	-0,547493	117,120972	-0,547502	117,120892	0.1644%	0.0068%
7	-0,547505	117,120972	-0,547502	117,120892	0.0548%	0.0068%
8	-0,547505	117,120972	-0,547502	117,120892	0.0548%	0.0068%
9	-0,547512	117,120932	-0,547502	117,120892	0.1826%	0.0034%
10	-0,547516	117,120921	-0,547502	117,120892	0.2557%	0.0025%
Rata-Rata Presentase Selisih					0.4146%	0.0048%

b) Pengujian Pengaruh Jarak terhadap Kekuatan Sinyal LoRa

Pengujian pengaruh jarak terhadap kekuatan sinyal LoRa dilaksanakan di ruang terbuka dengan 10 kali percobaan pada interval jarak 20 meter. Hasilnya, nilai RSSI (Received Signal Strength Indicator) berbanding terbalik dengan jarak tempuh. Pada jarak 20 meter, sinyal berada di level -76 dBm, kemudian terus menurun secara teratur hingga mencapai -116 dBm pada jarak 200 meter. Meskipun mengalami pelemahan, hubungan komunikasi data antar perangkat tetap berhasil dijaga.

Tabel 7. Tabel Data Hasil Uji Jangkauan Transmisi data LoRa

Percobaan Ke	Jarak (m)	Kekuatan Sinyal (dBm)
1	20	-76
2	40	-80
3	60	-81
4	80	-82
5	100	-84
6	120	-90
7	140	-96
8	160	-100
9	180	-110
10	200	-116

c) Pengujian Ketahanan Daya

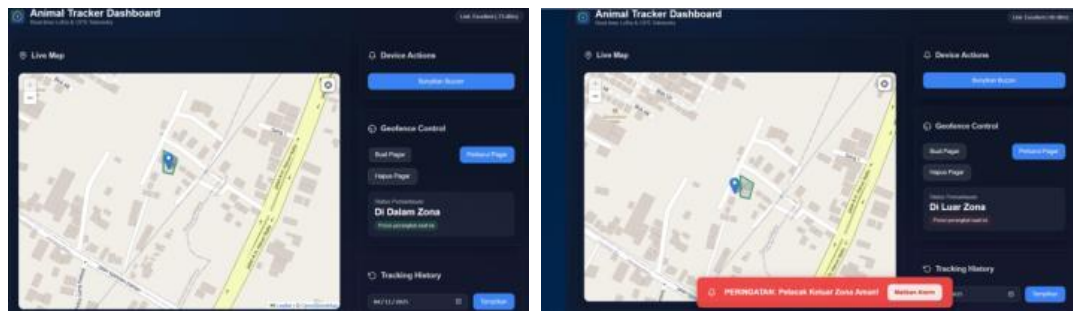
Pengujian operasional perangkat menggunakan baterai Li-Po berkapasitas 2500 mAh menunjukkan bahwa dalam kondisi aktif sepenuhnya (modul WiFi, LoRa, GPS, dan MPU6500 menyala), tegangan awal baterai berada di 4,20 V. Perangkat mampu beroperasi stabil selama kurang lebih 4 jam 16 menit sebelum tegangan turun ke level kritis 3,46 V yang ditandai dengan terjadinya *looping data*.

Tabel 8. Tabel Data Hasil Uji Ketahanan Daya Perangkat Tracker

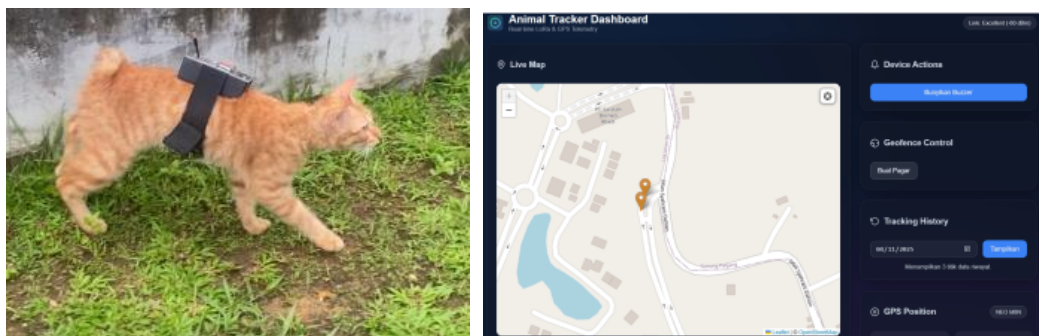
No.	Waktu Pengujian	Tegangan Baterai (V)	Kondisi Perangkat	Keterangan
1	15.17 WITA	4.20	Semua Modul Aktif (WIFI, LORA, GY & GPS AKTIF)	Baterai Penuh
2	19.33 WITA	3.46	Mengalami Looping Data	Hampir Habis

d) Pengujian Notifikasi Hewan & Fitur Tracking

Pengujian akhir memvalidasi fitur geofencing dan notifikasi ganda. Saat koordinat GPS keluar dari batas virtual, sistem mengubah status menjadi "Di Luar Zona" dan memicu dua respon simultan: peringatan merah serta alarm suara di dashboard aplikasi, plus pengiriman perintah downlink via LoRa untuk mengaktifkan buzzer pada Tracker. Namun, alarm tidak berhenti otomatis ketika hewan kembali ke zona aman, pengguna harus menekan tombol matikan pada notifikasi secara manual.



Gambar 10. Pengujian Fitur Geofencing dan Notifikasi pada Dashboard



Gambar 11. Implementasi Pemasangan Tracker pada Hewan Peliharaan dan Fitur Tracking

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem pelacakan dan pemantauan hewan peliharaan berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem yang terdiri dari perangkat *Tracker*, *Master (Gateway)*, dan Aplikasi *Dashboard* terbukti dapat beroperasi secara terintegrasi untuk memantau lokasi hewan secara *near real-time*.

Keandalan sistem ini didukung oleh hasil uji fungsionalitas komponen utamanya. Modul GPS NEO-M8N memperlihatkan akurasi pelacakan yang sangat presisi, dengan rata-rata selisih (error) terhadap Google Maps hanya 0.4146% untuk latitude dan 0.0048% untuk longitude. Komunikasi data nirkabel menggunakan LoRa RA-02 juga terbukti andal, mampu mentransmisikan data lokasi hingga jarak pengujian 200 meter di area terbuka dengan pelemahan sinyal (RSSI) hingga -116 dBm. Selain itu, fitur *geofencing* berhasil mendeteksi pergerakan hewan yang keluar dari batas area aman, serta secara otomatis memicu notifikasi ganda berupa peringatan visual di aplikasi dan alarm suara (*buzzer*) pada perangkat pelacak. Dari segi ketahanan daya, perangkat pelacak yang ditenagai baterai 2500 mAh mampu beroperasi penuh secara stabil selama kurang lebih 4 jam 16 menit.

Meskipun demikian, sistem yang dikembangkan masih memiliki keterbatasan, yaitu mekanisme notifikasi belum dilengkapi fitur auto-reset sehingga alarm dan peringatan harus dinonaktifkan secara manual setelah kondisi

<https://doi.org/10.30872/atasi.v5i2.4591>

kembali normal. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat mengembangkan mekanisme auto-reset notifikasi, menerapkan manajemen daya (sleep mode) untuk meningkatkan efisiensi baterai, merancang perangkat *tracker* yang lebih ringkas, serta menggunakan antena LoRa dengan *gain* yang lebih tinggi guna memperluas cakupan area pelacakan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- Alsaqqa, S., Sawalha, S., & Abdel-Nabi, H. (2020). Agile software development: Methodologies and trends. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, 14(11), 11. <https://doi.org/10.3991/ijim.v14i11.13269>
- American Humane Society. (n.d.). *American Humane Society*. Diambil 19 Mei 2025, dari <https://www.americanhumane.org/>
- Arta, I. K. C., Febriyanto, A., Nugraha, I. B. M. H. A., Widharma, I. G. S., & Purnama, I. B. I. (2022). Animal tracking berbasis Internet of Things. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 21(1), 1. <https://doi.org/10.24843/MITE.2022.v21i01.P02>
- Augustin, A., Yi, J., Clausen, T., & Townsley, W. M. (2016). A study of LoRa: Long range & low power networks for the Internet of Things. *Sensors*, 16(9), 1466. <https://doi.org/10.3390/s16091466>
- Espressif Systems. (n.d.). *Wireless SoCs, software, cloud and AIoT solutions*. Diambil 4 Mei 2025, dari <https://www.espressif.com/>
- Google. (n.d.). *Firebase and GCP integration*. Firebase. Diambil 5 Mei 2025, dari <https://firebase.google.com/firebase-and-gcp?hl=id>
- Kumar, N. M., & Mallick, P. K. (2018). The Internet of Things: Insights into the building blocks, component interactions, and architecture layers. *Procedia Computer Science*, 132, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.05.170>
- Kweon, H., An, E.-G., & Kim, H. (2023). Implementation of IoT application using geofencing technology for mountain management. *Journal of Advanced Navigation Technology*, 27(3), 300–305. <https://doi.org/10.12673/jant.2023.27.3.300>
- Mappadang, J. L., Kasenda, M. A., Pandis, F., Mainassy, J. B., & Itrantoy, C. (2023). Global Positioning System (GPS) control. *Jurnal Ilmu Komputer dan Sistem Informasi*, 9(4), 4. <https://jurnalhost.com/index.php/jiksi/article/view/225>
- Semtech Corporation. (n.d.). *SX1278*. Diambil 4 Mei 2025, dari <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-connect/sx1278>
- Serpell, J. A. (2013). Domestication and history of the cat. Dalam D. C. Turner & P. Bateson (Ed.), *The domestic cat: The biology of its behaviour* (edisi ke-3, hlm. 83–100). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177177.011>
- Setiawan, D., Sari, M. W., & Hardyanto, R. H. (2021). Geofencing technology implementation for pet tracker using Arduino based on Android. *Journal of Physics: Conference Series*, 1823(1), 012055. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1823/1/012055>
- u-blox. (2014). *NEO-7: u-blox 7 GNSS modules data sheet* (UBX-13003830). Diambil 3 Mei 2025, dari https://content.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-7_DataSheet_%28UBX-13003830%29.pdf
- Wang, K. (2017). Application of wireless sensor network based on LoRa in city gas meter reading. *International Journal of Online Engineering*, 13(12), 47–56. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v13i12.7887>