

Aplikasi Pelacakan Posisi Lansia Berbasis Ultra-Wideband dengan Notifikasi Geofence

Ultra-Wideband Elderly Position Tracking Application with Geofence Notification

Petrus Santoso*, Phe Nando, Andreas Willyanto

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra, Surabaya 60236, Indonesia

(*Email Korespondensi: petrus@petra.ac.id)

Abstrak: Di Indonesia, sejak tahun 2021 sudah memasuki fase struktur penduduk tua (*ageing population*), di mana sekitar 1 dari 10 penduduk adalah lansia. Kondisi ini menuntut pengembangan sistem *monitoring* yang efektif untuk memastikan keselamatan lansia di lingkungan rumah dan fasilitas kesehatan. Penelitian ini mengembangkan aplikasi pelacakan posisi lansia di dalam ruangan memanfaatkan teknologi *Ultra-Wideband* (UWB). Protokol utama yang dipakai adalah *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). Aplikasi dirancang untuk memantau posisi lansia secara *real-time*. Aplikasi juga dilengkapi dengan fitur *geofence*, yang memungkinkan peringatan otomatis (notifikasi) diberikan pada saat lansia keluar dari area aman yang sudah ditentukan. Arsitektur sistem dibangun dari tiga komponen utama: perangkat pelacak (*anchor* dan *tag* UWB), server untuk mengolah data, dan aplikasi *dashboard* Android. Jarak antara *tag* dan masing-masing *anchor* diukur dengan metode *Time-of-Flight* (ToF). Setelah data jarak diterima di server, koordinat posisi didapatkan dengan metode trilaterasi. Koordinat hasil perhitungan dikirim ke broker MQTT, aplikasi Android menerima data koordinat dan ditampilkan di *dashboard*. Hasil pengujian menunjukkan aplikasi berfungsi dengan baik untuk memantau posisi lansia, fitur *geofence* dan notifikasi juga mampu mendeteksi pergerakan keluar dari zona aman. Riwayat pergerakan lansia juga bisa ditampilkan. Aplikasi berpotensi untuk dikembangkan sebagai bagian dari ekosistem *smart healthcare* berbasis IoT.

Kata Kunci: UWB; MQTT; Geofence; Pelacakan Posisi; Lansia; Indoor Positioning System

Abstract: Indonesia has entered an aging population phase since 2021, with approximately 1 in 10 residents being elderly. This situation demands the development of an effective monitoring system to ensure the safety of the elderly in their homes and healthcare facilities. This research developed an application for tracking the position of the elderly using Ultra-Wideband (UWB) technology. The primary protocol used is Message Queuing Telemetry Transport (MQTT). The application is designed to monitor the position of the elderly in real time. The application also features a geofence feature, which allows for automatic alerts (notifications) when the elderly leave a predetermined safe area. The system architecture is built from three main components: tracking devices (anchors and UWB tags), a server for data processing, and an Android dashboard application. The distance between the tag and each anchor is measured using the Time-of-Flight (ToF) method. After the distance data is received on the server, the position coordinates are obtained using the trilateration method. The calculated coordinates are sent to the MQTT broker, and the Android application receives the coordinate data and displays it on the dashboard. Test results show that the application functions well for monitoring the position of the elderly. The geofence and notification features are also able to detect movement outside the safe zone. The elderly's movement history can also be displayed. The application has the potential to be developed as part of an IoT-based smart healthcare ecosystem.

Keywords: UWB; MQTT; Geofence; Position Tracking; Elderly; Indoor Positioning System

Naskah diterima 9 Oktober 2025; direvisi 26 November 2025; dipublikasi 30 November 2025.
JUISI is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



1. Pendahuluan

Peningkatan populasi lansia di seluruh dunia menjadi perhatian utama dalam bidang kesehatan dan keselamatan karena kelompok ini rentan terhadap cedera akibat aktivitas di lingkungan yang kurang aman. Di Indonesia, sejak tahun 2021 sudah memasuki fase struktur penduduk tua (*ageing population*), di mana sekitar 1 dari 10 penduduk adalah lansia. Diperkirakan pada tahun 2045 akan berjumlah 65,82 juta atau mencapai 20,31% dari total penduduk (Direktorat Statistik Kesejahteraan Rakyat, 2024). Kondisi ini menuntut pengembangan sistem *monitoring* yang efektif untuk memastikan keselamatan lansia di lingkungan rumah dan fasilitas kesehatan.

Salah satu permasalahan yang sering dihadapi oleh lansia adalah penurunan kemampuan kognitif, terutama pada ranah memori dan *visuospatial*, yang dapat meningkatkan risiko tersesat atau jatuh (Rini Nindela, Marisdina, Junaidi, Okparasta, & Anggraeni, 2023). Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pemantauan posisi yang mampu melacak keberadaan lansia secara *real-time* dan memberikan peringatan ketika terjadi kondisi seperti keluar dari area aman.

Berbagai teknologi telah dikembangkan untuk pelacakan posisi di dalam ruangan (*Indoor Positioning System/IPS*), antara lain berbasis Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), Zigbee, hingga Ultra-Wideband (UWB). Menurut (Casha, 2024), di antara berbagai teknologi tersebut, UWB menawarkan akurasi tertinggi, mampu mencapai presisi di bawah 10 cm, serta tahan terhadap interferensi dan kondisi lingkungan kompleks, tertutup, dan *multipath*.

Integrasi antara teknologi UWB dengan *Internet of Things* (IoT) membuka peluang besar untuk membangun sistem pemantauan posisi di dalam ruangan yang efisien dan terhubung. Protokol komunikasi ringan seperti MQTT sangat sesuai untuk sistem IoT karena mampu mengirimkan data posisi secara cepat dan andal dengan konsumsi daya rendah (Willyanto & Santoso, 2025). Gabungan teknologi UWB dan protokol UWB memungkinkan untuk membangun sistem pemantauan posisi di dalam ruangan yang akurat dan efisien.

Selain aspek pelacakan, fitur *geofence* menjadi komponen penting dalam sistem keamanan lansia. *Geofence* merupakan batas virtual yang dapat digunakan untuk mendeteksi ketika seseorang keluar dari zona aman dan mengirimkan notifikasi secara otomatis. Fitur *geofence* sudah diimplementasikan, tetapi masih memanfaatkan sistem pemantauan posisi dengan menggunakan GPS (Patil & Chaware, 2023). Fitur ini sangat relevan untuk mendukung pencegahan insiden yang disebabkan oleh kelemahan kognitif lansia. Pengembangan sistem *geofencing* di dalam area tertutup tentunya akan memberikan manfaat yang lebih besar.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan aplikasi pelacakan posisi lansia dalam ruangan menggunakan teknologi UWB dengan komunikasi data melalui MQTT. Fokus utama adalah menyediakan sistem yang dapat memetakan posisi di dalam area tertutup secara akurat, menampilkan informasi secara *real-time*, dan memberikan mekanisme notifikasi berbasis *geofence*. Dengan demikian, diharapkan aplikasi ini dapat menjadi solusi berbasis teknologi yang efektif dalam meningkatkan keselamatan dan kualitas hidup lansia di lingkungan *indoor*.

2. Kajian Pustaka

Sistem pelacakan posisi dalam ruangan (IPS) digunakan untuk menentukan posisi objek atau individu di area tertutup di mana sinyal GPS tidak efektif. IPS memanfaatkan teknologi seperti Wi-Fi, BLE, Zigbee, dan UWB. Menurut (Casha, 2024), UWB memiliki keunggulan dalam hal akurasi, ketahanan terhadap interferensi, dan kemampuan bekerja dalam kondisi *multipath*. Aziz dan Koo menambahkan bahwa UWB mampu memberikan tingkat akurasi hingga di bawah 10 cm karena menggunakan prinsip *Time of Flight* (ToF) dan *bandwidth* yang lebar (Aziz & Koo, 2025). Penelitian oleh (Crețu-Sîrcu, et al., 2022) memberikan hasil bahwa UWB memberikan akurasi yang baik untuk pelacakan manusia maupun objek. Teknologi ini cocok digunakan dalam aplikasi yang memerlukan presisi tinggi seperti sistem navigasi robotik, pelacakan aset industri, dan pemantauan lansia.

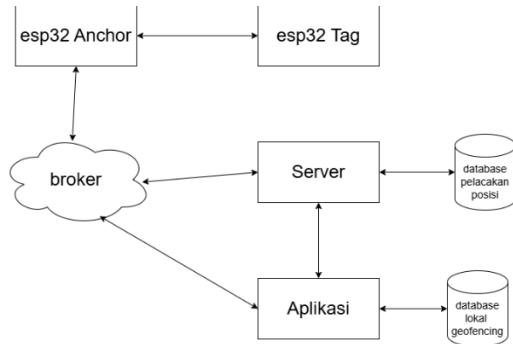
Dalam bidang kesehatan, UWB telah dimanfaatkan untuk mendukung sistem pemantauan pasien lanjut usia. Bastidas, Espinilla dan Quero memberikan usulan tentang IPS memanfaatkan UWB. Percobaan awal telah dilakukan dengan empat macam kit UWB. Hasil menunjukkan akurasi UWB berhasil diverifikasi untuk keperluan melacak pergerakan manusia (Bastidas, Espinilla, & Quero, 2022). Implementasi UWB untuk pemantauan lansia dalam

ruangan juga dilakukan oleh Willyanto dan Santoso dengan menambahkan komunikasi berbasis IoT. Hasil menunjukkan bahwa sistem pelacakan berfungsi baik tetapi masih diperlukan penyempurnaan dalam hal konsumsi daya dan antar muka pemantauan yang mudah dipakai. (Willyanto & Santoso, 2025).

Geofencing adalah fitur yang banyak diimplementasikan sejak munculnya teknologi layanan berbasis lokasi. Prinsip kerja *geofencing* melibatkan tahapan berikut: menetapkan batas-batas lokasi untuk *geofence*, menyalakan akses lokasi, deteksi masuk atau keluar *geofence*, memicu aksi dan memberikan respons (Bowie, 2024). Penerapan terkait dengan pemantauan lansia pada mulanya masih menggunakan teknologi GPS seperti pada (Pratama, Renaldi, Umbara, & Djamal, 2020) dan (Suriyakrishnaan, Rishitha, & Yamuna, 2024).

3. Perancangan Sistem

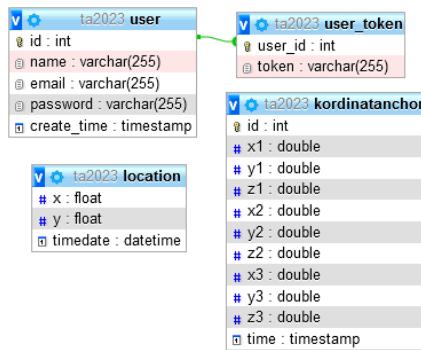
Sistem yang dirancang pada penelitian ini digunakan untuk dapat melakukan pemantauan pada pergerakan dari lansia. Pergerakan yang dipantau oleh sistem ini merupakan posisi dari lansia ketika berada dalam ruangan. Arsitektur sistem terdiri dari tiga komponen utama, yaitu (1) perangkat pelacakan berbasis UWB, (2) server pengolah data dan penyedia layanan API, serta (3) aplikasi *mobile* berbasis Android sebagai antarmuka pengguna. Gambar 1 menunjukkan arsitektur tersebut.



Gambar 1. Arsitektur Sistem

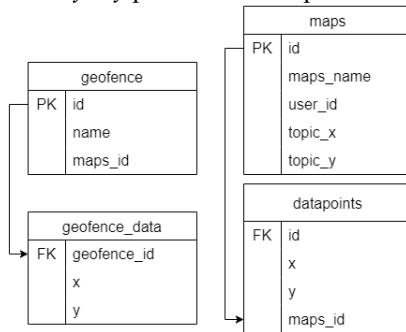
Perangkat pelacakan menggunakan UWB *tag* yang dikenakan oleh lansia dan beberapa UWB *anchor* yang ditempatkan pada titik-titik strategis di dalam ruangan. *Anchor* berfungsi sebagai referensi posisi tetap, sedangkan *tag* berperan sebagai pemancar sinyal yang akan diukur jaraknya oleh *anchor*. Jarak antar perangkat diperoleh melalui metode *Time-of-Flight* (ToF), yang kemudian digunakan dalam proses trilaterasi untuk menentukan posisi aktual lansia. Kalkulasi posisi memanfaatkan mekanisme yang diimplementasikan di (Willyanto & Santoso, 2025). Data hasil pengukuran dari *anchor* dikirim ke server melalui protokol MQTT. Server berperan dalam memproses data, menyimpan hasil trilaterasi ke dalam basis data MySQL, serta menyediakan *Application Programming Interface* (API) untuk komunikasi dengan aplikasi Android. Aplikasi Android bertugas menampilkan posisi lansia dalam bentuk peta dua dimensi (2D) serta menyediakan fitur *geofence* dan notifikasi ketika pengguna keluar dari area aman yang didefinisikan.

Gambar 2 merupakan rancangan untuk *database* yang ada pada server. Pada rancangan tersebut dibuat 4 tabel yang terdiri dari tabel user, tabel user_token, tabel location, dan tabel kordinatanchor. Id pada tabel user akan dijadikan sebagai *Primary key* yang digunakan sebagai penghubung pada user_id dari tabel user_token. Tabel user dan tabel user token akan digunakan untuk menyimpan informasi guna keperluan autentikasi. Tabel location berisi data pencatatan posisi hasil trilaterasi yang berhasil dilakukan dan tabel kordinatanchor akan menyimpan koordinat tetap dari masing-masing *anchor*.



Gambar 2. Tabel Database Server

Gambar 3 merupakan rancangan *database* lokal yang terintegrasi pada aplikasi. Pada rancangan tersebut terdapat 4 tabel yang terdiri dari tabel geofence, tabel geofence_data, tabel maps, dan tabel datapoints. Tabel geofence dan tabel geofence_data saling berhubungan melalui Primary key yang dideklarasikan pada id dari tabel geofence dan foreign key pada geofence_id pada table geofence_data. Pada tabel maps dan tabel datapoint terdapat relasi yang menghubungkan kedua tabel tersebut. Primary key pada id tabel maps dan foreign key pada maps_id tabel datapoints.

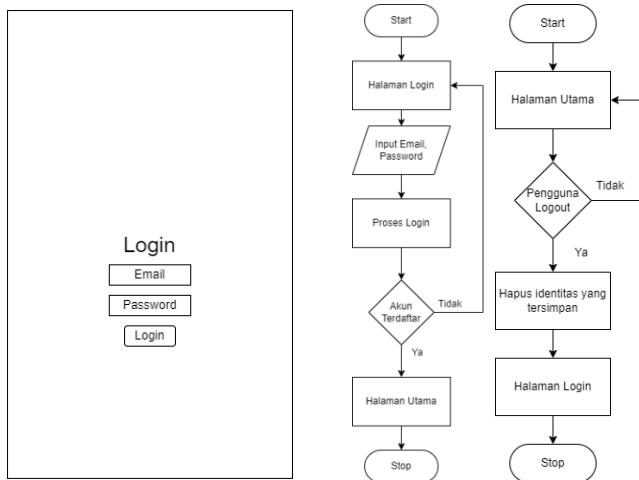


Gambar 3. Tabel Database SQLite

Aplikasi Android dikembangkan sebagai antarmuka utama bagi pengguna (keluarga, pengasuh, atau petugas). Aplikasi memiliki dua modul utama, yaitu **Modul Autentifikasi Pengguna** dan **Modul Utama (Main Activity)**.

3.1 Modul Autentikasi

Modul autentikasi bertugas melakukan verifikasi kredensial pengguna menggunakan API yang disediakan server. Setelah berhasil *login*, pengguna memperoleh *token* otorisasi yang disimpan secara sementara (*shared preferences*). Fitur *logout* akan menghapus *token* baik di sisi aplikasi maupun server untuk menjamin keamanan data. Tampilan UI dan *flowchart* bisa dilihat di Gambar 4.



Gambar 4. UI dan Flowchart Dari Autentikasi (Login – Logout)

3.2 Modul Utama (MainActivity)

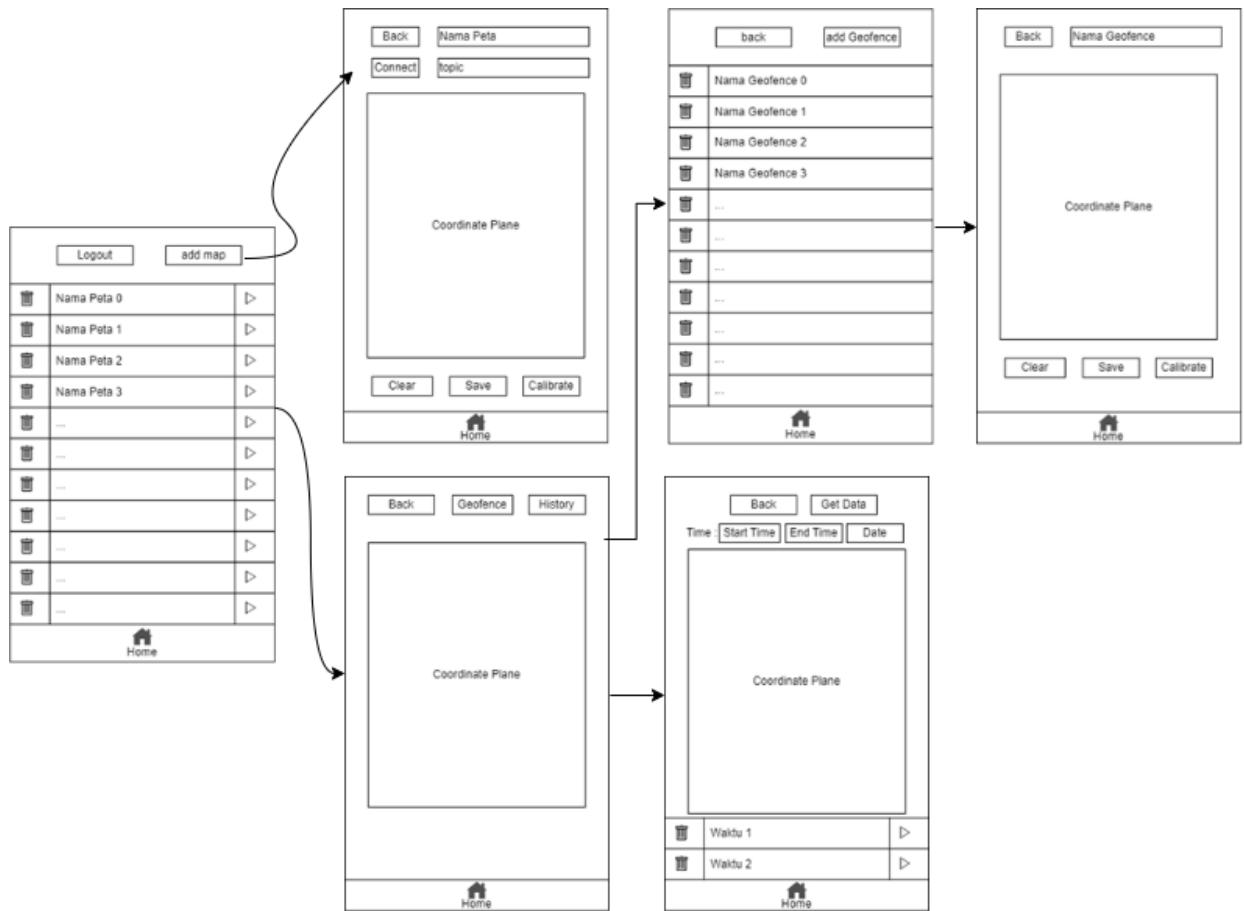
Modul utama mempunyai fitur-fitur sebagai berikut:

- Peta dan Pemantauan Posisi: menampilkan posisi lansia secara *real-time* berdasarkan data koordinat dari server.
- Manajemen Peta: memungkinkan pengguna membuat dan menyimpan peta area pemantauan ke dalam *database* lokal SQLite.
- Konfigurasi *Geofence*: memungkinkan pengguna mendefinisikan daerah aman dengan menggambar poligon di atas peta.
- Notifikasi: mengirimkan peringatan jika *tag* keluar dari daerah aman.
- *History*: menampilkan riwayat pergerakan lansia berdasarkan tanggal dan waktu tertentu.

Desain UI dari modul utama ditampilkan di Gambar 5. MainActivity menampilkan *homepage* berupa daftar peta yang tersimpan. Dari *homepage* bisa berpindah untuk membuat peta baru atau menampilkan peta yang dipilih. Dari tampilan peta yang dipilih bisa berpindah ke tampilan daftar *geofence* atau ke tampilan *history*. Dari tampilan *geofence* bisa berpindah ke tampilan pembuatan *geofence*.

MainActivity menjalankan semua logika program terkait fitur-fitur aplikasi yang sudah disediakan. Interaksi antara aplikasi android dan server dilakukan dengan menggunakan protokol MQTT dan protokol berbasis REST API. Fitur yang membutuhkan tampilan *real-time* diimplementasikan dengan memanfaatkan protokol MQTT. Fitur *history* diimplementasikan dengan protokol berbasis REST API.

Untuk fitur *geofence*, aplikasi mengolah koordinat yang diterima dari MQTT broker dengan memanfaatkan algoritma Point in Polygon (Haines, 1994). Koordinat posisi dibandingkan dengan batas *geofence* untuk menentukan status “*inside*” atau “*outside*”. Jika aplikasi mendeteksi posisi di luar batas, notifikasi visual dan suara akan ditampilkan.



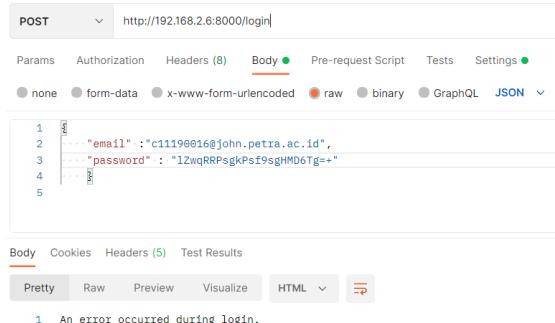
Gambar 5. Desain UI

4. Hasil dan Pembahasan

Ada 4 pengujian yang akan dibahas dalam bagian ini, yaitu tentang autentikasi, manajemen peta, konfigurasi *geofence* dan notifikasi, pemetaan dan *monitoring*.

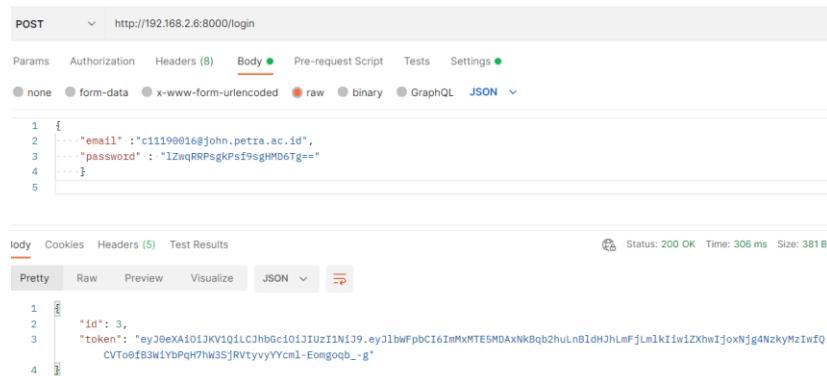
4.1 Pengujian Autentikasi

Pengujian autentikasi dilakukan untuk mengetahui jika aplikasi berhasil atau tidak dalam melakukan autentikasi kepada penggunanya. Pengujian ini dilakukan dengan kondisi server terletak pada Ubuntu server yang diprogram dengan bahasa pemrograman Python. Proses pengujian akan dilakukan melalui Postman dengan memanfaatkan kondisi tersebut serta skenario yang diberikan seperti uji coba autentikasi dengan email atau *password* salah dan uji coba autentikasi dengan email atau *password* benar. Uji coba dimulai dengan menguji skenario pertama, kolom *password* akan diisi dengan *password* yang salah. Gambar 6 merupakan tampilan hasil uji coba *login* melalui Postman.



Gambar 6. Tampilan Hasil Pengujian Gagal Login

Skenario kedua dilakukan dengan memasukkan email dan *password* yang valid. Gambar 7 merupakan tampilan dari hasil Postman.

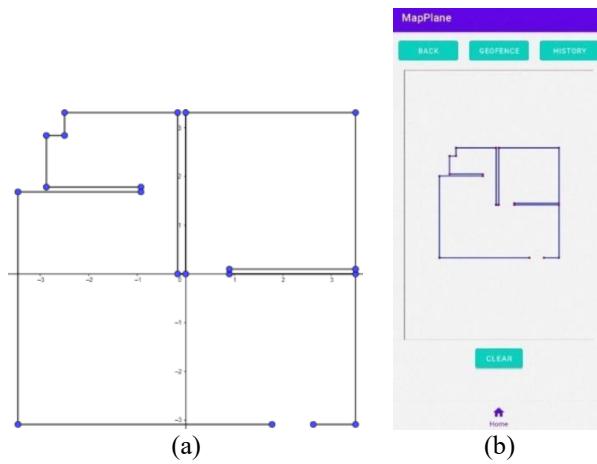


Gambar 7. Tampilan Postman Uji Coba Login Berhasil

Melalui pengujian yang dilakukan dapat diketahui bahwa aplikasi sudah berhasil untuk melakukan proses autentifikasi.

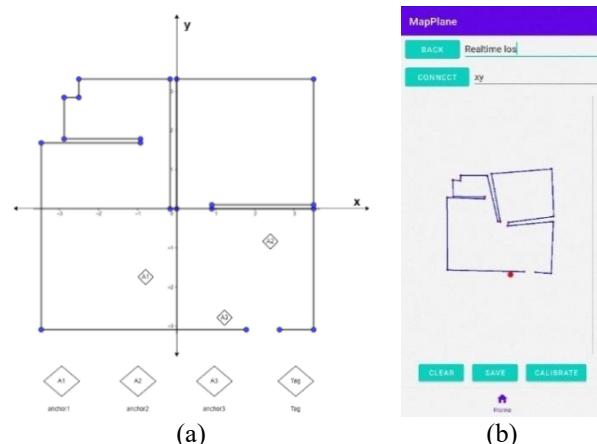
4.2 Pengujian Manajemen Peta

Proses pengujian dilakukan dengan 2 skenario, yaitu percobaan dengan data *predefined* yang dibuat dengan program Python dan percobaan dengan data asli dengan kondisi ruangan sesungguhnya. Pengujian pertama memiliki tujuan untuk memastikan bahwa fitur dan komponen dari *Create Map* dapat berfungsi dengan baik dalam menambah dan menampilkan peta dengan kondisi yang diberikan. Kondisi pengujian pertama memanfaatkan ruangan Laboratorium IoT, menggunakan topik *xy1* untuk menerima data yang dikirimkan, sudut-sudut dari ruangan yang akan digunakan sebagai parameter dalam pencatatan dan mengabaikan keberadaan pilar yang terletak di samping pintu. Proses pengujian diawali dengan melakukan pengukuran pada ruangan. Selanjutnya dilakukan penggambaran dengan hasil pengukuran dengan memanfaatkan titik-titik sudut yang akan digunakan pada data *predefined*. Untuk mempermudah proses tersebut dilakukannya penggambaran titik pada bidang kartesian seperti pada Gambar 8a. Dari titik-titik yang telah didapat, dilakukan proses penggambaran peta. Hasil dari penggambaran dapat dilihat pada Gambar 8b. Melalui pengujian pada skenario pertama, dapat dilihat bahwa aplikasi sudah dapat melakukan penggambaran peta. Ketika ditampilkan kembali melalui halaman *Show Map* peta berhasil ditampilkan seperti yang digambarkan.



Gambar 8. Simulasi Dari Skema Ruangan Laboratorium dan tampilan data *predefined* yang tersimpan

Pengujian skenario kedua memiliki tujuan untuk mengetahui bahwa aplikasi dan perangkat sudah berhasil berkomunikasi, dan juga mengetahui keberhasilan aplikasi dalam menggambarkan seluruh titik-titik koordinat hasil perhitungan trilaterasi. Kondisi dari pengujian ini adalah data yang diterima merupakan data asli yang dikirimkan oleh server setelah hasil trilaterasi, pengujian dilakukan pada ruangan laboratorium IoT. Dalam pengujian ini *anchor* diletakkan sesuai dengan ilustrasi pada Gambar 9a. Hasil peta dapat dilihat pada Gambar 9b. Melalui hasil pengujian kedua dapat dilihat perangkat pelacak dan aplikasi sudah dapat melakukan komunikasi. Titik-titik hasil trilaterasi sudah berhasil dipetakan pada aplikasi. Ada garis-garis yang letaknya lebih jauh dari posisi *anchor*. Hal ini disebabkan karena kurangnya jumlah *anchor*, percobaan dengan posisi *tag* berbeda menunjukkan hasil bagian yang tidak akurat berpindah juga posisinya.

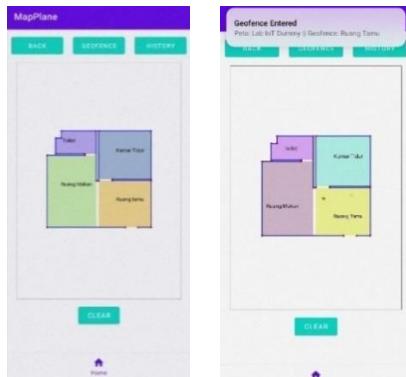


Gambar 9. Peletakan *Anchor* Pada Ruangan dan Peta yang dihasilkan.

Dari dua skenario pengujian dapat dikatakan bahwa aplikasi dan protokol yang diimplementasikan berfungsi dengan baik, tetapi masalah akurasi membutuhkan jumlah *anchor* yang lebih banyak. Informasi tentang konfigurasi *anchor* yang optimal bisa dilihat pada artikel oleh Cho dan Byoungkil (Cho & Byoungkil, 2024).

4.3 Pengujian Konfigurasi Geofence dan Notifikasi

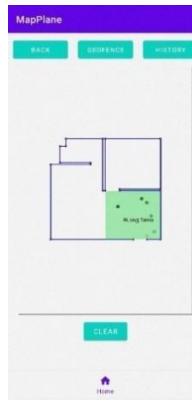
Pengujian memiliki tujuan untuk memastikan bahwa fitur dan komponen dari *geofence* dapat berfungsi dengan baik dalam menambah dan menampilkan hasil konfigurasi *geofence* sesuai dengan kondisi yang diberikan. Kondisi pengujian pertama memanfaatkan peta ruangan Laboratorium IoT, sudut-sudut dari ruangan yang akan digunakan sebagai parameter dalam pencatatan dan mengabaikan keberadaan pilar yang terletak di samping pintu. Pada pengujian ini area yang dimasukkan ke dalam konfigurasi *geofence* adalah ruang tamu, kamar tidur, toilet dan ruang makan. Untuk prosedur penambahan konfigurasi akan dimulai dari ruang tamu. Gambar 10 merupakan tampilan konfigurasi *geofence* yang disimpan dan notifikasi pergerakan *tag*.



Gambar 10. Tampilan Hasil Pengujian Konfigurasi Geofence dan Notifikasi

4.4 Pengujian Pemetaan dan Monitoring

Proses pengujian dilakukan dengan 2 skenario, yaitu penggambaran posisi lansia pada peta yang telah dibuat, dan penggambaran posisi lansia yang tersimpan pada *database* pada fitur *History*. Pengujian skenario pertama dilakukan untuk mengetahui keberhasilan aplikasi dalam menggambarkan posisi lansia. Kondisi dari pengujian ini adalah data yang dimanfaatkan merupakan data *dummy*, memanfaatkan peta dan *geofence* yang juga merupakan hasil pengujian sebelumnya. Pada pengujian ini, pergerakan *tag* dilambangkan dengan pergerakan titik yang berwarna hitam yang berpindah-pindah. Gambar 11 merupakan hasil pengujian simulasi yang dilakukan.



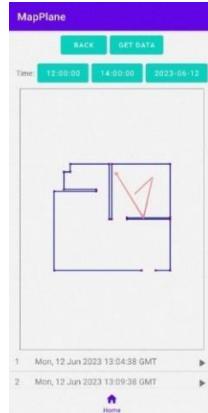
Gambar 11. Hasil Pengujian dalam Menggambarkan Posisi

Pengujian skenario kedua memiliki tujuan untuk memastikan fitur dari sistem *history* dapat berjalan dengan kondisi yang diberikan. Kondisi dari pengujian skenario kedua ini adalah data yang diambil adalah data simulasi dengan *timestamp* antara 12 Juni 2023 pukul 12:00 hingga pukul 14:00. Hasil API *Call* bisa dilihat pada Gambar 12. Hasil pergerakan bisa dilihat pada Gambar 13.

```

POST http://192.168.2.6:8000/history
{
    "datetimes": [
        {
            "datetime": "2023-06-12 12:00:00",
            "x": 1.3575,
            "y": 1.50637
        },
        {
            "datetime": "Mon, 12 Jun 2023 13:09:38 GMT",
            "x": 2.4447,
            "y": 2.53097
        },
        {
            "datetime": "Mon, 12 Jun 2023 13:14:38 GMT",
            "x": 1.901,
            "y": 0.8745047
        }
    ]
}
  
```

Gambar 12. Pengujian Pengambilan Data *History* Melalui Postman



Gambar 13. Hasil Pengujian Fitur *History* Pada Aplikasi

Melalui pengujian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa fitur *monitoring* dan *history* sudah dapat bekerja sesuai dengan tujuan yang diharapkan

5. Kesimpulan

Penelitian ini telah mengembangkan aplikasi pelacakan posisi lansia berbasis teknologi *Ultra-Wideband* (UWB) dengan dukungan protokol komunikasi *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) dan fitur notifikasi *geofence*. Sistem terdiri dari tiga komponen utama, yaitu perangkat pelacak (UWB tag dan anchor), server pemrosesan data, dan aplikasi Android sebagai antarmuka pengguna.

Beberapa kesimpulan yang didapatkan:

- Mekanisme autentikasi pengguna berjalan dengan baik. Sistem berhasil melakukan validasi email dan kata sandi melalui API server serta memberikan respons yang sesuai terhadap *input* benar maupun salah.
- Fitur manajemen peta dapat menampilkan hasil penggambaran ruangan berdasarkan data *predefined* maupun data hasil perhitungan trilaterasi dari perangkat UWB. Sistem mampu menampilkan peta dan titik posisi dengan benar.

- Fitur *geofence* dan notifikasi berfungsi sesuai tujuan. Sistem dapat menambahkan, menyimpan, serta menampilkan konfigurasi *geofence* dan memberikan notifikasi secara *real-time* ketika perangkat *tag* melewati batas area aman.
- Fitur *monitoring* dan *history* mampu menampilkan posisi lansia secara *real-time* serta menampilkan riwayat pergerakan berdasarkan rentang waktu yang dimasukkan pengguna.

Pengujian secara keseluruhan menunjukkan bahwa integrasi antara UWB, MQTT, dan aplikasi Android berjalan dengan baik. Seluruh komponen sistem mampu berkomunikasi secara sinkron dan memberikan keluaran sesuai rancangan. Meskipun sistem sudah berfungsi dengan baik, hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan jumlah *anchor* dan pengujian di berbagai kondisi ruangan masih diperlukan untuk memperoleh hasil pelacakan posisi yang lebih akurat dan stabil. Hasil menunjukkan bahwa aplikasi bisa dimanfaatkan untuk meningkatkan keselamatan lansia di lingkungan dalam ruangan, serta berpotensi dikembangkan menjadi bagian dari ekosistem *smart healthcare* berbasis IoT di masa mendatang.

6. Daftar Pustaka

- Aziz, T., & Koo, I. (2025). A Comprehensive Review of Indoor Localization Techniques and Applications in Various Sectors. *Journal of Applied Sciences*, doi:10.3390/app15031544 .
- Bastidas, S. C., Espinilla, M., & Quero, J. (2022). Review of Ultra Wide Band (UWB) for Indoor Positioning with application to the elderly. *55th Hawaii International Conference on System Sciences*, (pp. 2145-2154).
- Bowie, D. (2024, February 7). *How Geofencing Works: Pros, Cons and Privacy Concerns*. Retrieved from How Stuff Works?: <https://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/geofencing.htm>
- Casha, O. (2024). A Comparative Analysis and Review of Indoor Positioning Systems and Technologies. In A. Sabban, *Innovations in Indoor Positioning Systems (IPS)* (p. doi: 10.5772/intechopen.1005185). IntechOpen.
- Cho, J., & B. L. (2024). Optimal layout of four anchors to improve accuracy of Ultra-Wide band based indoor positioning. *Expert Systems With Applications*, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124808>.
- Crețu-Sircu, A. L., Schioler, H., Cederholm, J. P., Sircu, I., Schjørring, A., Larrad, I. R., . . . Madsen, O. (2022). Evaluation and Comparison of Ultrasonic and UWB Technology for Indoor Localization in an Industrial Environment. *Sensors*, <https://doi.org/10.3390/s22082927>.
- Direktorat Statistik Kesejahteraan Rakyat . (2024, 08 30). *Statistik Penduduk Lanjut Usia 2024*. Jakarta, Indonesia: Badan Pusat Statistik. Retrieved from <https://www.bps.go.id/id/publication/2024/12/31/a00d4477490caaf0716b711d/statistik-penduduk-lanjut-usia-2024.html>
- Haines, E. (1994). Point in Polygon Strategies. In P. S. Heckbert, *Graphic Gems IV* (pp. 24-46). Academic Press Limited.
- Patil, J., & Chaware, A. (2023). Geofencing For Elderly. In S. S. Rao, S. L. Fernandes, C. Singh, R. R. Gatti, H. A., & R. R. Gatty, *IoT and Big Data Analytics for Smart Healthcare Applications* (pp. 191-208). Bentham Science Publishers.
- Pratama, E. R., Renaldi, F., Umbara, F. R., & Djamaral, E. C. (2020). Geofencing Technology in Monitoring of Geriatric Patients Suffering from Dementia and Alzheimer . *2020 3rd International Conference on Computer and Informatics Engineering (IC2IE)*, (pp. 106-111).
- Rini Nindela, Y., Marisdina, S., Junaidi, A., Okparasta, A., & Anggraeni, D. (2023). Skrining kognitif pada dewasa dan lansia di Kelurahan Gunung Ibul Kota Prabumulih. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Humanity and Medicine*, 90-105.
- Suriyakrishnaan, K., Rishitha, G., Geetha, N., & Yamuna, K. S. (2024). Human Safety Using GPS and Geofencing. *2024 4th International Conference on Sustainable Expert Systems (ICSES)*, (pp. 183-187).
- Willyanto, A., & Santoso, P. (2025). Sistem Pelacakan Posisi Dalam Ruangan Menggunakan UWB. *Jurnal Teknik Elektro*, 18(1), 1-7.