

IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING PELACAKAN LOKASI *ASET TOOLS* BERBASIS RTLS DI HANGGAR PENDIDIKAN

TESIS

Oleh
Dwi Wahyuni
7312411004

Disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Terapan Program Studi Teknik Komputer



**PROGRAM STUDI
MAGISTER TERAPAN TEKNIK KOMPUTER
POLITEKNIK NEGERI BATAM
2026**

LEMBAR PENGESAHAN

IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING PELACAKAN LOKASI *ASET TOOLS* BERBASIS RTLS DI HANGGAR PENDIDIKAN

Oleh:

DWI WAHYUNI

NIM: 7312411004

Telah diuji dan dipertahankan di depan Tim Penguji
dalam Sidang Akhir Tesis
pada tanggal 28 Juli 2026

Dan dinyatakan **LULUS**

polibatam

Batam, 13 Agustus 2026

Disetujui dan disahkan oleh:

Pembimbing Utama,



Andy Triwinarko, ST, M.T., Ph.D.

NIP: 197910072012121001

Pembimbing Pendamping,



Prasaja Wikanta, S.T., M.T., Ph.D

NIP: 197709182012121002

ABSTRAK

IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING PELACAKAN LOKASI ASET *TOOLS* BERBASIS RTLS DI HANGGAR PENDIDIKAN

Oleh:

DWI WAHYUNI

NIM: 7312411004

(Program Studi Magister Teknik Komputer)

Pemantauan keberadaan aset *tools* di Hanggar Pendidikan Politeknik Negeri Batam masih menghadapi keterbatasan dalam mengetahui lokasi dan kondisi aset secara cepat. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem *monitoring* pelacakan lokasi aset *tools* berbasis *Real-Time Location System* (RTLS), menyediakan mekanisme deteksi aset di luar area pemantauan, serta mengevaluasi kinerja sistem. Pengembangan sistem menggunakan metode *Waterfall* yang meliputi *requirement analysis*, *design*, *implementation*, *testing*, dan *maintenance*. Sistem menggunakan HTIT Tracker, LoRa Gateway, Raspberry Pi 4, MQTT Broker, dan Home Assistant sebagai *platform monitoring*. Data koordinat diperoleh dari modul GNSS, sedangkan komunikasi data menggunakan LoRa. Pengujian dilakukan pada jarak 1, 5, 10, 20, dan 30 meter dengan sepuluh percobaan pada setiap jarak. Wi-Fi dan Bluetooth digunakan sebagai teknologi pembanding berdasarkan nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI). Hasil pengujian menunjukkan RSSI rata-rata LoRa menurun dari -41,9 dBm pada jarak 1 meter menjadi -76,7 dBm pada jarak 30 meter. LoRa menunjukkan penurunan RSSI yang relatif lebih rendah dibandingkan Wi-Fi dan Bluetooth pada kondisi pengujian. Sistem berhasil menampilkan informasi perangkat, koordinat, status, posisi pada *floor plan*, serta kondisi *NORMAL* dan *OUT_OF_ZONE* disertai notifikasi. Hasil *User Acceptance Testing* memperoleh rata-rata 4,11 dari skala 5 dengan tingkat penerimaan 82,2%. Berdasarkan hasil tersebut, sistem dapat mendukung *monitoring* aset *tools* secara *real-time* dan LoRa sesuai digunakan sebagai teknologi komunikasi pada skenario penelitian.

Kata kunci: *Real-Time Location System*, *monitoring* aset, LoRa, RSSI, GNSS, *Dashboard*, Hanggar Pendidikan.

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF AN RTLS-BASED MONITORING SYSTEM FOR TRACKING ASSET TOOLS IN AN EDUCATIONAL HANGAR

By:

DWI WAHYUNI

NIM: 7312411004

(Program Studi Magister Teknik Komputer)

Monitoring the presence of *tools* assets at the Educational Hangar of Politeknik Negeri Batam still faces limitations in obtaining asset location and condition information quickly. This study aims to design and implement a *Real-Time Location System* (RTLS)-based asset monitoring and tracking system, provide a mechanism for detecting assets outside the monitoring area, and evaluate system performance. The system was developed using the *Waterfall* method, consisting of *requirement analysis*, *design*, *implementation*, *testing*, and *maintenance*. The system uses an HTIT Tracker, LoRa Gateway, Raspberry Pi 4, MQTT Broker, and Home Assistant as the monitoring platform. Coordinate data are obtained from the GNSS module, while data communication uses LoRa. Testing was conducted at distances of 1, 5, 10, 20, and 30 meters, with ten trials at each distance. Wi-Fi and Bluetooth were also used as comparison technologies based on the *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) values. The results show that the average LoRa RSSI decreased from -41.9 dBm at a distance of 1 meter to -76.7 dBm at 30 meters. LoRa showed a relatively lower RSSI decrease compared with Wi-Fi and Bluetooth as the distance increased under the test conditions. The system successfully displayed device information, coordinates, status, position on the *floor plan*, and NORMAL and OUT_OF_ZONE conditions accompanied by notifications. The *User Acceptance Testing* resulted in an average score of 4.11 on a 5-point scale, with an acceptance rate of 82.2%. Based on these results, the system can support real-time monitoring of *tools* assets, while LoRa is suitable as the communication technology for the research scenario.

Keywords: Real-Time Location System, asset monitoring, LoRa, RSSI, GNSS, Dashboard, Educational Hangar.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Rumusan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Batasan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	6
1.7 Pendekatan Penelitian.....	6
1.8. Sistematika Penulisan	7
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Manajemen Aset di Hanggar Pendidikan	9
2.2 Sistem <i>Monitoring</i> Aset.....	10
2.3 <i>Real Time Locating System</i> (RTLS)	10
2.4 Komunikasi Nirkabel.....	11
2.5 <i>Long Range</i> (LoRa)	12
2.6 <i>Received Signal Strength Indicator</i> (RSSI).....	12
2.7 IoT dalam Manajemen Aset	13
2.8 <i>Message Queuing Telemetry Transport</i> (MQTT)	14
2.9 <i>Home Asisstant</i>	15
2.10 <i>Dashboard Monitoring</i>	16
2.11 Penelitian Terdahulu.....	16
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Pendekatan Penelitian.....	20
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	21
3.3 Objek Penelitian	24

3.4 Metode Pengembangan Sistem.....	24
3.4.1 <i>Requirement Analysis</i> (Analisis Kebutuhan)	24
3.4.2 <i>Design</i>	28
3.4.3 <i>Implementation</i>	34
3.4.4 <i>Testing</i>	34
3.4.5 <i>Maintenance</i>	37
BAB IV. HASIL & PEMBAHASAN.....	39
4.1 Hasil Implementasi Sistem	39
4.1.1 Implementasi HTIT Tracker	39
4.1.2 Implementasi LoRa <i>Gateway</i>	43
4.1.3 Implementasi Raspberry Pi 4.....	44
4.1.4 Integrasi LoRa <i>Gateway</i> dengan MQTT Broker.....	47
4.2 Pengujian Sistem	54
4.2.1. Skenario Pengujian	54
4.2.2 Hasil Pengujian Sistem.....	56
BAB V. PENUTUP.....	81
5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA.....	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme Komunikasi MQTT pada Sistem Monitoring RTLS.....	15
Gambar 3.1 Metode Pengembangan <i>Waterfall</i>	20
Gambar 3.2 Kondisi <i>Toolbox</i> Facom Sebagai Media Penyimpanan <i>Tools</i>	25
Gambar 3.3 Kondisi <i>Tools</i> pada <i>Toolbox</i> Facom.....	26
Gambar 3.4 Dokumen <i>Checklist Toolbox</i>	26
Gambar 3.5 Desain Arsitektur Sistem	29
Gambar 3.6 Desain Tampilan <i>Dashboard</i>	30
Gambar 3.7 Desain Tampilan <i>Dashboard</i> RTLS	31
Gambar 3.8 Desain Tampilan Saat Status Normal	31
Gambar 3.9 Desain Tampilan Saat Status Keluar Zona	32
Gambar 3.10 Diagram Alir Sistem	33
Gambar 4.1 HTIT Tracker Heltec Automation.....	40
Gambar 4.2 Instalasi Board ESP32 pada Arduino IDE	40
Gambar 4.3 Pemilihan Board dan Com Port	41
Gambar 4.4 Proses <i>Upload</i> Program ke HTIT Tracker	41
Gambar 4.5 Hasil Verifikasi Menggunakan Serial Monitor	42
Gambar 4.6 Hasil Verifikasi Pengiriman Data HTIT Tracker.....	42
Gambar 4.7 Lora Gateway	43
Gambar 4.8 Antarmuka Konfigurasi LoRa Gateway	44
Gambar 4.9 Raspberry Pi 4.....	45
Gambar 4.10 Pemilihan <i>Home Assistant</i> pada Raspberry Pi Imager.....	45
Gambar 4.11 Konfigurasi Awal Home Assistant	46
Gambar 4.12 Pembuatan Akun Home Assistant.....	46
Gambar 4.13 Menu Pengaturan di Home Assistant	47
Gambar 4.14 Menu Aplikasi di Home Assistant.....	48
Gambar 4.15 Menu Install Aplikasi.....	48
Gambar 4.16 Instalasi MQTT Broker	49
Gambar 4.17 Proses Instalasi MQTT Broker Selesai	49
Gambar 4.18 Integrasi Perangkat pada MQTT Broker.....	50
Gambar 4.19 Tampilan Awal Home Assistant.....	51
Gambar 4.20 Tampilan <i>Floor Plan</i> pada Dashboard RTLS	52
Gambar 4.21 Informasi <i>Monitoring</i> Dashboard RTLS.....	52
Gambar 4.22 Notifikasi Peringatan pada Dashboard RTLS	53
Gambar 4.23 Grafik Perubahan Rata-Rata Nilai RSSI LoRa Terhadap Jarak	58
Gambar 4.24 Grafik Perubahan Rata-Rata Nilai RSSI Wi-Fi Terhadap Jarak.....	62
Gambar 4.25 Grafik Perubahan Rata-Rata Nilai RSSI Bluetooth Terhadap Jarak.....	66

Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Nilai RSSI Rata-Rata LoRa, Wi-Fi, dan Bluetooth Terhadap Jarak	68
Gambar 4.27 Tampilan Serial Monitor	72
Gambar 4.28 Tampilan Data Tracker pada <i>Home Assistant</i>	72
Gambar 4.29 Tampilan <i>Dashboard</i> Saat Status Normal	73
Gambar 4.30 Tampilan <i>Dashboard</i> Saat Status <i>Out Of Zone</i>	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rentang Nilai RSSI.....	13
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu	17
Tabel 3.1 Waktu Penelitian.....	22
Tabel 3.2 <i>Work Breakdown Structure</i> (WBS) Sistem <i>Monitoring</i> Pelacakan Lokasi	23
Tabel 3.3 Kebutuhan Perangkat Keras.....	27
Tabel 3.4 Kebutuhan Perangkat Lunak.....	28
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran RSSI	57
Tabel 4.2 Hasil Pengujian RSSI.....	58
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran RSSI Wi-Fi.....	60
Tabel 4.4 Hasil Pengujian RSSI Wi-Fi	61
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran RSSI Bluetooth.....	64
Tabel 4.6 Hasil Pengujian RSSI Bluetooth.....	65
Tabel 4.7 Perbandingan Nilai RSSI Rata-Rata LoRa, Wi-Fi, dan Bluetooth	68
Tabel 4.8 Perbandingan Tingkat Keberhasilan Komunikasi	70
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Integrasi Sistem	75
Tabel 4.10 Hasil <i>User Acceptance Testing</i> (UAT)	78

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Manajemen aset merupakan aspek penting dalam mendukung kelancaran aktivitas operasional serta mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya baik di lingkungan industri maupun pendidikan. Menurut ISO [1], manajemen aset merupakan serangkaian aktivitas yang saling terkoordinasi untuk mewujudkan nilai dari aset tersebut melalui pengelolaan yang efektif. Dalam institusi pendidikan, penerapan manajemen aset memegang peran penting dalam memastikan bahwa fasilitas, peralatan, dan sumber daya pendukung dapat dikelola secara efektif guna mendukung fungsi operasional dalam kegiatan praktikum pembelajaran [2]. Di lingkungan pendidikan penerbangan, aset yang dikelola termasuk fasilitas dan peralatan praktikum yang digunakan dalam kegiatan perawatan pesawat untuk mendukung kelancaran proses pembelajaran dan menjaga aspek keselamatan.

Dunia penerbangan memiliki keterkaitan erat dengan aspek keselamatan, dimana kesalahan kecil dari sisi manusia maupun kegagalan teknis dapat berpotensi menyebabkan kecelakaan penerbangan [3]. Oleh karena itu, kegiatan perawatan pesawat harus dilaksanakan secara rutin dan sesuai prosedur untuk memastikan seluruh sistem pesawat seperti mesin, avionik, dan komponen pendukung lainnya dapat berfungsi dengan baik [4]. Kegiatan perawatan tersebut membutuhkan berbagai alat praktikum khusus yang digunakan untuk membongkar, memeriksa, dan memperbaiki komponen pesawat. Alat tersebut biasanya disimpan dalam rak perkakas (*tool storage system*) seperti Facom, Snap-on, atau sistem rak sejenis lainnya sehingga ketersediaan dan pengelolaannya menjadi bagian penting dalam mendukung kelancaran proses perawatan serta menjaga keselamatan penerbangan.

Meskipun kegiatan perawatan pesawat dilakukan di lingkungan pendidikan, namun kesalahan teknis tetap dapat berdampak besar karena praktik dilakukan langsung menggunakan pesawat dan keselamatan tetap harus dijaga secara ketat. Oleh karena itu, pengelolaan dan pelacakan aset berupa alat praktikum (*tools*) perlu dilakukan secara sistematis untuk meminimalkan potensi kesalahan selama praktikum. Salah satu risiko utama dari pengelolaan alat praktikum yang kurang baik adalah terjadinya *Foreign Object Debris* (FOD). FOD adalah objek atau benda asing yang tidak seharusnya berada di area pergerakan pesawat yang berpotensi dapat menyebabkan kerusakan pada struktur atau mesin pesawat selama proses lepas landas maupun landing. FOD dapat menyebabkan gangguan serius dalam pengoperasian pesawat dan membahayakan keselamatan

penerbangan [5]. Oleh karena itu, sistem pelacakan dan *monitoring* alat praktikum tidak hanya penting untuk efisiensi pengelolaan aset, tetapi juga berperan penting dalam meminimalkan risiko terjadinya FOD di lingkungan hanggar pendidikan.

Namun, pengelolaan alat praktikum yang dilakukan secara manual menjadi permasalahan dalam kegiatan perawatan pesawat karena kurangnya sistem *monitoring* terhadap pergerakan alat yang sering berpindah tempat tanpa pencatatan, tertinggal di area tertentu, atau bahkan tidak diketahui keberadaannya secara pasti. Sistem manual tersebut dapat menyebabkan *human error* karena tidak dapat memantau alat secara *real-time* sehingga pada akhirnya dapat menghambat kegiatan operasional. Oleh karena itu, sistem *monitoring* yang mampu mengawasi keberadaan alat praktikum secara menyeluruh sangat diperlukan untuk memastikan seluruh alat dalam kondisi baik dan siap digunakan setiap saat untuk proses perawatan pesawat [6].

Berdasarkan hasil observasi di Hanggar Politeknik Negeri Batam, diketahui bahwa penyimpanan alat yang digunakan untuk praktikum adalah bermerek Facom. Meskipun rak ini memiliki keunggulan dari sisi desain ergonomis dan ketahanan fisik, namun sistem penyimpanan dan pencatatannya masih dilakukan secara manual. Kondisi tersebut dapat menimbulkan berbagai kendala seperti kesulitan dalam melacak keberadaan alat, meningkatnya risiko kehilangan, hingga tidak terdeteksinya posisi alat yang tertinggal di area kerja. Permasalahan tersebut berpotensi mengganggu kelancaran kegiatan praktikum dan meningkatkan risiko terjadinya FOD di lingkungan Hanggar Pendidikan.

Salah satu teknologi yang banyak digunakan dalam pengelolaan aset adalah *barcode*, yang memerlukan pemindaian manual sehingga kurang efisien untuk kebutuhan *monitoring* aset. Selanjutnya, dikembangkan metode identifikasi otomatis yang mampu mengurangi waktu dan tenaga dalam proses *input* data serta meningkatkan efisiensi pengelolaan aset [7]. Namun, metode ini masih memiliki keterbatasan dalam memberikan informasi lokasi secara *real-time*, terutama di area tertutup (*indoor*) seperti hanggar.

Untuk mengatasi hal tersebut, dikembangkan *Real Time Locating System* (RTLS) yang mampu melakukan pelacakan lokasi aset secara *real-time* untuk memantau pergerakan aset secara berkelanjutan [8]. Dalam implementasinya, RTLS memanfaatkan berbagai teknologi komunikasi nirkabel untuk mentransmisikan data lokasi secara berkala dan efisien. Dalam implementasinya, RTLS dapat memanfaatkan berbagai teknologi komunikasi nirkabel seperti Wi-Fi, *Bluetooth Low Energy* (BLE), Ultra-Wideband (UWB), dan *Long Range* (LoRa). Setiap teknologi memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal jangkauan komunikasi, konsumsi daya, kebutuhan infrastruktur serta

kemampuan dalam mendukung penentuan lokasi. Oleh karena itu, pemilihan teknologi komunikasi perlu mempertimbangkan karakteristik lingkungan dan kebutuhan sistem yang akan diterapkan.

Pemilihan teknologi komunikasi tidak hanya didasarkan pada karakteristik masing-masing teknologi tetapi juga perlu mempertimbangkan kondisi lingkungan pada saat implementasi sesuai dengan kebutuhan sistem. Dalam penelitian ini, LoRa digunakan sebagai teknologi komunikasi utama untuk implementasi sistem RTLS. LoRa dipertimbangkan karena memiliki jangkauan komunikasi yang luas dan konsumsi daya yang rendah serta dapat digunakan untuk komunikasi data berukuran relatif kecil secara berkala [9].

Lingkungan Hanggar Pendidikan memiliki karakteristik *indoor* dengan area kerja yang relatif luas serta struktur bangunan yang didominasi material logam. Kondisi tersebut dapat memengaruhi propagasi sinyal nirkabel dan menyebabkan variasi kekuatan sinyal yang diterima perangkat. Oleh karena itu, diperlukan pertimbangan dan pengujian karakteristik komunikasi dari teknologi yang akan digunakan pada kondisi lingkungan hanggar. Dalam sistem RTLS, *received signal strength indicator* (RSSI) dapat digunakan sebagai salah satu parameter untuk menggambarkan karakteristik sinyal yang diterima perangkat dan dapat dimanfaatkan dalam proses estimasi jarak. Namun, nilai RSSI dapat mengalami variasi akibat kondisi lingkungan termasuk keberadaan struktur logam yang dapat memengaruhi propagasi sinyal di dalam hanggar. Kondisi tersebut menjadi tantangan dalam memperoleh estimasi jarak dan lokasi yang stabil. Oleh karena itu, pengujian karakteristik RSSI pada lingkungan Hanggar Pendidikan diperlukan untuk mengetahui hubungan antara kekuatan sinyal dan jarak serta menjadi dasar dalam menentukan metode penentuan atau lokasi alat.

Berdasarkan beberapa hasil dari penelitian sebelumnya, teknologi komunikasi seperti UWB, BLE, dan LoRa telah digunakan dalam berbagai implementasi pelacakan objek dengan karakteristik kinerja yang berbeda. Namun, penerapan sistem *monitoring* pelacakan aset tools pada lingkungan Hanggar Pendidikan memiliki karakteristik tersendiri terkait kebutuhan pemantauan alat praktikum, cakupan area hanggar serta kondisi lingkungan dengan struktur logam yang dapat mempengaruhi karakteristik sinyal. Oleh karena itu, diperlukan implementasi dan evaluasi sistem RTLS yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan Hanggar Pendidikan untuk mengetahui karakteristik komunikasi dan kemampuan sistem dalam mendukung pemantauan lokasi aset.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan sistem *monitoring* pelacakan lokasi alat praktikum berbasis RTLS dengan memanfaatkan teknologi komunikasi LoRa. Sistem yang dikembangkan dilengkapi dengan *dashboard monitoring* untuk memantau keberadaan dan status alat secara *real-time*. Implementasi sistem ini diharapkan mampu meningkatkan efektivitas pengelolaan alat, memudahkan pemantauan keberadaan alat, serta memberikan informasi ketika alat berada diluar zona yang telah ditentukan sehingga dapat mendukung upaya pengurangan risiko alat tertinggal di area kerja.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang yang telah disampaikan diatas, permasalahan utama yang akan menjadi fokus penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Pengelolaan alat praktikum di Hanggar Pendidikan masih dilakukan secara manual sehingga belum mampu memantau keberadaan alat secara *real-time*.
2. Sistem manual berpotensi menyebabkan *human error* seperti alat tertinggal di area tertentu, sulit ditemukan, atau tidak diketahui keberadaannya.
3. Belum tersedia sistem *monitoring* berbasis RTLS yang dapat memberikan informasi keberadaan dan status alat praktikum secara *real-time* melalui *dashboard monitoring*.
4. Belum diketahui karakteristik nilai RSSI terhadap variasi jarak antara perangkat pelacak dan *gateway* pada kondisi lingkungan Hanggar Pendidikan yang memiliki struktur bangunan dengan material logam.

1.3 Rumusan Masalah

Merujuk pada permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya, rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem *Real-Time Locating System* (RTLS) berbasis teknologi komunikasi LoRa untuk memantau keberadaan dan status alat praktikum secara *real-time* melalui *dashboard monitoring* di Hanggar Pendidikan Politeknik Negeri Batam?
2. Bagaimana sistem dapat memberikan informasi dan notifikasi ketika alat praktikum berada di luar zona yang telah ditentukan?
3. Bagaimana karakteristik nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) terhadap variasi jarak antara perangkat pelacak dan *gateway* pada kondisi lingkungan Hanggar Pendidikan?

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah:

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem *Real-Time Locating System* (RTLS) berbasis teknologi komunikasi LoRa untuk memantau keberadaan dan status alat praktikum secara *real-time* melalui *dashboard monitoring* di Hanggar Pendidikan Politeknik Negeri Batam.
2. Mengimplementasikan sistem yang dapat memberikan informasi atau notifikasi ketika alat praktikum berada di luar zona yang telah ditentukan.
3. Mengevaluasi karakteristik nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) terhadap variasi jarak antara perangkat pelacak dan *gateway* pada kondisi lingkungan Hanggar Pendidikan.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini lebih terfokus dan tidak meluas, Batasan masalah yang dijadikan acuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Hanggar Pendidikan Politeknik Negeri Batam dengan objek penelitian berupa alat praktikum yang dipasang satu perangkat pelacak berbasis LoRa.
2. Sistem hanya melakukan *monitoring* keberadaan alat praktikum di area Hanggar Pendidikan dan tidak mencakup pelacakan di luar area hanggar.
3. Sistem menggunakan konsep *Real-Time Locating System* (RTLS) dengan teknologi komunikasi LoRa sebagai teknologi komunikasi utama untuk melakukan *monitoring* keberadaan alat praktikum.
4. Sistem menggunakan satu perangkat pelacak (HTIT Tracker) sebagai perangkat utama dalam pengujian. Pengujian dengan beberapa perangkat pelacak identik tidak dilakukan karena keterbatasan ketersediaan perangkat yang memiliki spesifikasi dan konfigurasi komunikasi yang sama.
5. *Dashboard monitoring* digunakan untuk menampilkan informasi keberadaan dan status alat, nilai RSSI serta memberikan notifikasi ketika alat berada diluar zona yang telah ditentukan.
6. Evaluasi karakteristik komunikasi sistem difokuskan pada pengujian nilai RSSI terhadap variasi jarak antara perangkat pelacak dan *gateway* pada kondisi lingkungan Hanggar Pendidikan.
7. Penentuan keberadaan atau zona alat dalam penelitian dibatasi berdasarkan parameter dan mekanisme yang diterapkan pada sistem sehingga penelitian tidak membahas

pengembangan metode *positioning* dengan teknologi lain seperti WiFi, *Bluetooth Low Energy* (BLE), atau Ultra-Wideband (UWB).

1.6 Manfaat Penelitian

a. Manfaat Teoritis

1. Memberikan kontribusi dalam penerapan konsep *Real Time Locating System* (RTLS) berbasis teknologi komunikasi LoRa untuk *monitoring* aset *tools* pada lingkungan pendidikan.
2. Memberikan informasi mengenai karakteristik nilai RSSI terhadap variasi jarak antara perangkat pelacak dan *gateway* pada lingkungan Hanggar Pendidikan.
3. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dalam pengembangan sistem RTLS untuk *monitoring* aset pada lingkungan *indoor* dengan karakteristik lingkungan yang dapat memengaruhi propagasi sinyal.

b. Manfaat Praktis

1. Membantu pengguna dalam memantau keberadaan dan status alat praktikum melalui *dashboard monitoring* secara *real-time*.
2. Membantu proses pencarian alat dengan memberikan informasi mengenai keberadaan alat dan peringatan ketika alat berada di luar zona yang telah ditentukan.
3. Mendukung pengelolaan aset alat praktikum yang lebih terstruktur dengan mengurangi ketergantungan pada pencatatan dan pemantauan secara manual.
4. Memberikan informasi mengenai karakteristik komunikasi LoRa berdasarkan nilai RSSI pada lingkungan Hanggar Pendidikan sebagai bahan pertimbangan dalam penerapan sistem *monitoring* aset.

1.7 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk mengevaluasi performa sistem monitoring pelacakan lokasi aset berbasis *Real-Time Locating System* (RTLS). Data yang dikumpulkan meliputi nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), status perangkat, serta keberhasilan komunikasi data antara HTIT Tracker dan LoRa Gateway yang ditampilkan pada dashboard monitoring. Data tersebut digunakan untuk menganalisis karakteristik komunikasi sistem berdasarkan variasi jarak pengujian.

Dalam proses pengembangan sistem digunakan metode *Waterfall*. Metode ini terdiri atas beberapa tahapan yaitu *requirement analysis*, *design*, *implementation*, *testing*, dan *maintenance*. Setiap tahapan dilaksanakan secara sistematis dan berurutan untuk memastikan sistem yang dibangun memenuhi kebutuhan fungsional yang telah ditetapkan.

Melalui pendekatan ini, penelitian diharapkan untuk menghasilkan sistem *monitoring* pelacakan lokasi aset yang dapat beroperasi dengan baik serta mendukung pengelolaan alat praktikum secara lebih efektif di lingkungan Hanggar Pendidikan.

1.8. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang penelitian, identifikasi masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian, manfaat penelitian, pendekatan penelitian, serta sistematika penulisan. Bab ini bertujuan memberikan gambaran umum mengenai permasalahan dan ruang lingkup penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori-teori yang menjadi landasan penelitian, meliputi manajemen aset di hanggar pendidikan, sistem monitoring aset, *Real-Time Locating System* (RTLS), komunikasi nirkabel, *Internet of Things* (IoT), dashboard monitoring, topologi jaringan, serta penelitian terdahulu yang relevan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan pendekatan penelitian, lokasi dan waktu penelitian, objek penelitian, serta metode pengembangan sistem menggunakan model *Waterfall* yang terdiri atas tahapan *requirement analysis*, *design*, *implementation*, *testing*, dan *maintenance*. Selain itu, bab ini juga menjelaskan kebutuhan sistem, perancangan, implementasi, serta metode pengujian yang digunakan dalam penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil implementasi sistem monitoring pelacakan lokasi aset berbasis RTLS serta hasil pengujian sistem. Pembahasan difokuskan pada implementasi setiap komponen sistem, pengujian nilai RSSI pada berbagai variasi jarak, serta evaluasi performa komunikasi sistem berdasarkan hasil pengujian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil implementasi dan pengujian sistem, serta saran yang dapat digunakan sebagai masukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Manajemen Aset di Hanggar Pendidikan

Manajemen aset merupakan proses pengorganisasian, perencanaan, dan pengawasan terhadap pembelian, penggunaan, perawatan, perbaikan, dan penghapusan aset fisik untuk mengoptimalkan manfaat dan meminimalkan risiko dalam mendukung pengambilan keputusan [10]. Manajemen aset bertujuan untuk mengelola aset secara efisien sehingga dapat memberikan manfaat yang optimal dengan biaya pengelolaan seminimal mungkin. Penelitian ini berfokus pada manajemen aset berupa alat praktikum yang digunakan dalam kegiatan perawatan pesawat udara di hanggar pendidikan.

Hanggar merupakan bangunan yang digunakan untuk menyimpan, merawat, dan memperbaiki pesawat. Selain berada di bandara dan fasilitas militer, hanggar juga menjadi fasilitas penting di institusi pendidikan yang memiliki program studi terkait penerbangan. Di institusi pendidikan, hanggar dilengkapi dengan berbagai aset berupa peralatan praktikum yang digunakan untuk mendukung kegiatan pembelajaran dan simulasi perawatan pesawat udara. Dalam kegiatan perawatan pesawat udara, berbagai peralatan kerja seperti alat yang digunakan dalam kegiatan praktikum harus tersedia, terdokumentasi, dan dikelola dengan baik agar proses perawatan dapat berlangsung sesuai prosedur [11].

Kesalahan dalam pelaksanaan perawatan pesawat sering kali disebabkan oleh faktor organisasi (*organisational influences*) seperti kurang lengkapnya material, keterbatasan peralatan, ataupun peralatan yang kurang optimal sehingga membuat kinerja di lapangan tidak sesuai [12]. Bahkan di lingkungan pendidikan, konsekuensi dari kesalahan teknis seperti *Foreign Object Debris* (FOD) tetap dapat terjadi apabila pengelolaan alat tidak dilakukan dengan baik.

Dalam lingkungan hanggar pendidikan, alat praktikum digunakan oleh banyak pengguna dan berpindah lokasi sesuai aktivitas praktikum. Kondisi tersebut menyebabkan proses pengelolaan dan pemantauan aset menjadi lebih kompleks sehingga diperlukan sistem yang mampu mengetahui keberadaan alat secara cepat. Oleh karena itu, pengelolaan aset di lingkungan hanggar memiliki peran penting untuk memastikan ketersediaan, keandalan, dan optimalisasi penggunaan alat praktikum. Pengelolaan yang baik mampu mendukung proses perawatan dan pembelajaran agar berlangsung secara efisien, terencana, dan minim risiko. Selain itu, penerapan manajemen aset yang memenuhi standar dapat membantu mengurangi potensi kesalahan teknis akibat ketidaksiapan

peralatan. Dengan demikian, pengelolaan aset yang efektif menjadi salah satu faktor penting dalam mendukung operasional hanggar pendidikan.

2.2 Sistem *Monitoring* Aset

Monitoring aset merupakan kegiatan pengawasan terhadap keberadaan, kondisi, dan penggunaan aset untuk memastikan aset dapat digunakan secara optimal selama proses operasional [13]. Di lingkungan hanggar pendidikan, *monitoring* diperlukan karena alat praktikum memiliki mobilitas tinggi dan digunakan oleh banyak pengguna dalam kegiatan praktikum dan perawatan pesawat udara.

Alat praktikum tersebut memerlukan pengelolaan yang baik agar selalu dalam kondisi siap pakai, tidak hilang, dan digunakan sesuai prosedur. Tanpa adanya *monitoring* yang baik, alat yang tertinggal berpotensi menjadi penyebab terjadinya *foreign object debris* (FOD) yang dapat membahayakan keselamatan serta mengganggu kelancaran kegiatan praktikum dan pembelajaran.

Untuk itu, dibutuhkan sistem *monitoring* yaitu proses pengawasan dan pelacakan terhadap keberadaan, kondisi, dan penggunaan aset agar dapat dipantau secara efektif dan efisien. Penerapan *monitoring* ini tidak hanya membantu dalam proses inventarisasi tetapi juga mencegah keterlambatan pengembalian dan kehilangan alat, serta memastikan ketersediaan saat dibutuhkan. Dengan dukungan teknologi, *monitoring* kini dapat dilakukan secara *real-time* dan otomatis sehingga meningkatkan efisiensi, akuntabilitas, dan keandalan dalam pengelolaan aset [14]. Salah satu teknologi yang dapat diterapkan untuk mendukung *monitoring* secara *real-time* adalah RTLS yang memungkinkan lokasi aset dipantau secara berkelanjutan melalui teknologi komunikasi nirkabel.

2.3 *Real Time Locating System* (RTLS)

RTLS digunakan untuk melacak dan menemukan aset maupun individu secara *real-time*. Sistem ini biasanya digunakan dalam industri seperti kesehatan, logistik, dan manufaktur untuk meningkatkan keselamatan, mengoptimalkan proses operasional, dan meningkatkan keamanan. RTLS dapat memberikan visibilitas *real-time* terhadap pergerakan dan status aset sehingga memungkinkan organisasi untuk melacak aliran barang, mengelola inventaris, dan memastikan keselamatan dan kesejahteraan personel [15].

RTLS menggunakan tag yang dipasang pada aset atau individu serta perangkat tetap yang berfungsi menerima sinyal dari tag tersebut untuk menentukan lokasi secara berkala. RTLS dapat menentukan keberadaan atau lokasi aset berdasarkan parameter komunikasi

yang diperoleh antar *tag* dan perangkat penerima salah satunya melalui nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI). Tag RTLS memancarkan ID unik yang kemudian diterima oleh perangkat sehingga informasi lokasi dapat diproses oleh sistem. Dengan mekanisme tersebut, RTLS memudahkan pengguna dalam menemukan peralatan yang dibutuhkan secara cepat melalui sistem *monitoring* [16].

RTLS menjadi solusi penting dalam pengelolaan aset karena mampu memberikan visibilitas lokasi secara *real-time*. Penerapan teknologi ini, memungkinkan sebuah organisasi untuk memantau pergerakan aset secara berkelanjutan sehingga mendukung efisiensi operasional, peningkatan keselamatan, serta membantu proses pengambilan keputusan. Oleh karena itu, RTLS menjadi salah satu teknologi yang sesuai untuk mendukung sistem *monitoring* aset khususnya dalam pengelolaan alat praktikum di lingkungan hanggar pendidikan.

2.4 Komunikasi Nirkabel

Komunikasi nirkabel merupakan metode pertukaran data tanpa kabel fisik menggunakan gelombang elektromagnetik seperti gelombang radio dan gelombang mikro [17]. Dalam sistem RTLS, komunikasi nirkabel memungkinkan *monitoring* alat secara *real-time* dengan perangkat dan jangkauan yang luas.

Beberapa teknologi komunikasi nirkabel yang umum digunakan dalam implementasi RTLS antara lain Wi-Fi yang sesuai untuk pengiriman data berkapasitas besar dalam area terbatas, *Bluetooth Low Energy* (BLE) yang mendukung komunikasi jarak dekat dengan konsumsi daya rendah, UWB yang memiliki akurasi tinggi dan ketahanan terhadap interferensi sinyal, Zigbee yang banyak diterapkan pada jaringan sensor berbasis mesh, LoRa yang mampu menyediakan komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah, serta RFID yang umum digunakan untuk identifikasi dan pelacakan aset dalam jarak dekat.

Pemilihan teknologi komunikasi nirkabel disesuaikan dengan kebutuhan sistem seperti luas area, kondisi fisik lingkungan, daya listrik yang tersedia, serta karakteristik pergerakan alat yang dipantau. Pemahaman terhadap karakteristik masing-masing teknologi menjadi penting dalam menentukan solusi yang paling tepat [18]. Pada penelitian ini dipilih teknologi LoRa karena memiliki jangkauan komunikasi yang luas dan konsumsi daya yang rendah sehingga sesuai untuk mendukung implementasi sistem *monitoring* alat praktikum di lingkungan hanggar pendidikan.

2.5 Long Range (LoRa)

LoRa adalah teknologi komunikasi nirkabel jarak jauh yang menggunakan frekuensi radio (RF) dengan konsumsi daya rendah serta mendukung transmisi data berukuran relatif kecil [19]. Karakteristik tersebut menjadikan LoRa sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan komunikasi data secara berkala pada area dengan cakupan yang relatif luas. Dalam penerapannya, perangkat berbasis LoRa dapat digunakan untuk mengirimkan data dari perangkat pelacak menuju *gateway* yang selanjutnya diteruskan ke sistem pengolahan dan *monitoring*.

Pada sistem *monitoring* berbasis LoRa, data yang diterima oleh *gateway* dapat diteruskan ke sistem pengolahan menggunakan protokol komunikasi seperti MQTT. MQTT merupakan protokol komunikasi yang ringan sehingga sesuai untuk proses pertukaran data pada sistem yang membutuhkan pengiriman data secara efisien [20]. Dalam penelitian ini, MQTT digunakan untuk meneruskan data hasil komunikasi antara perangkat pelacak dan *gateway* menuju sistem *monitoring* yang dijalankan pada Raspberry Pi.

Komunikasi LoRa memiliki karakteristik jangkauan yang luas dan konsumsi daya yang rendah sehingga sesuai untuk mendukung sistem monitoring alat praktikum di lingkungan Hanggar Pendidikan. Namun, kualitas komunikasi dapat dipengaruhi oleh jarak antara perangkat pelacak dan *gateway* serta kondisi lingkungan tempat komunikasi berlangsung. Beberapa parameter dapat digunakan untuk menggambarkan kualitas penerimaan sinyal, antara lain *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) dan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) [21]. Nilai RSSI dapat digunakan untuk menggambarkan kekuatan sinyal yang diterima perangkat dan menganalisis hubungan antara kekuatan sinyal dengan jarak. Oleh karena itu, penelitian ini memfokuskan pengujian pada karakteristik nilai RSSI terhadap variasi jarak antara perangkat pelacak dan *gateway* pada kondisi lingkungan Hanggar Pendidikan.

2.6 Received Signal Strength Indicator (RSSI)

RSSI merupakan indikator yang digunakan untuk mengukur kekuatan sinyal yang diterima oleh suatu perangkat [22]. Nilai RSSI umumnya dinyatakan dalam satuan dBm dan dapat digunakan sebagai salah satu parameter untuk menganalisis karakteristik penerimaan sinyal. Dalam sistem komunikasi nirkabel, perubahan jarak antara perangkat pelacak dan *gateway* dapat memengaruhi nilai RSSI yang diterima. Semakin jauh jarak antara perangkat, kekuatan sinyal yang diterima pada umumnya semakin menurun. Namun, hubungan antara RSSI dan jarak tidak selalu bersifat stabil karena nilai RSSI dapat

dipengaruhi oleh *noise*, *multipath fading*, interferensi, serta kondisi lingkungan yang menyebabkan fluktuasi kekuatan sinyal yang diterima.

Pada lingkungan *indoor*, karakteristik RSSI dapat dipengaruhi oleh struktur bangunan dan material yang terdapat di sekitar perangkat. Keberadaan material logam dapat menyebabkan pemantulan dan perubahan propagasi sinyal sehingga menghasilkan variasi nilai RSSI pada jarak yang sama. Kondisi tersebut menjadi salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam penerapan sistem RTLS di lingkungan Hanggar Pendidikan. Oleh karena itu, pengukuran RSSI pada beberapa variasi jarak antara perangkat pelacak dan *gateway* diperlukan untuk mengetahui karakteristik perubahan kekuatan sinyal pada kondisi lingkungan tersebut.

Secara umum, nilai RSSI dapat digunakan untuk menggambarkan kualitas kekuatan sinyal yang diterima perangkat. Rentang nilai RSSI dapat dikelompokkan berdasarkan tingkat kekuatan sinyal sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Rentang Nilai RSSI

RSSI	<i>Signal Strength</i>
>-70 dBm	<i>Excellent</i>
-70dBm to 86 dBm	<i>Good</i>
-86dBm to -100 dBm	<i>Fair</i>
<-100 dBm to -110dBm	<i>Poor</i>
<-110 dBm	<i>No Signal</i>

Dalam penelitian ini, RSSI digunakan sebagai parameter untuk mengevaluasi karakteristik komunikasi LoRa berdasarkan variasi jarak antara perangkat pelacak dan *gateway*. Nilai RSSI yang diperoleh dari setiap pengujian digunakan untuk melihat perubahan kekuatan sinyal pada kondisi lingkungan Hanggar Pendidikan dan menjadi salah satu dasar dalam menganalisis kemampuan komunikasi sistem dalam mendukung pemantauan lokasi aset.

2.7 IoT dalam Manajemen Aset

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi yang mengacu pada jaringan perangkat fisik yang saling terhubung dan mampu mengumpulkan, mengirimkan, dan bertukar data secara otomatis tanpa memerlukan interaksi atau pengawasan langsung [23]. Teknologi ini mengintegrasikan sensor, perangkat lunak, jaringan komunikasi, serta sistem pemrosesan data untuk mendukung pengambilan keputusan yang cepat dan akurat. Dalam

penerapannya pada manajemen aset, IoT dapat menghubungkan perangkat pelacak dengan sistem pengolahan data sehingga informasi mengenai aset dapat dikumpulkan dan dipantau secara terintegrasi.

Dalam manajemen aset, IoT memberikan kemampuan untuk melakukan pemantauan secara *real-time* yang sangat penting dalam lingkungan operasional seperti lingkungan Pendidikan berbasis praktikum. Perangkat IoT yang terpasang pada aset seperti tracker atau sensor dapat mengirimkan informasi lokasi mengenai keberadaan, lokasi, dan pergerakan aset ke sistem monitoring. Data tersebut selanjutnya dapat diproses dan ditampilkan melalui *dashboard* sehingga pengelola dapat memantau keberadaan aset tanpa melakukan pencatatan manual secara terus menerus [24]. Penerapan konsep tersebut dapat membantu meningkatkan efisiensi pengelolaan dan pemantauan aset.

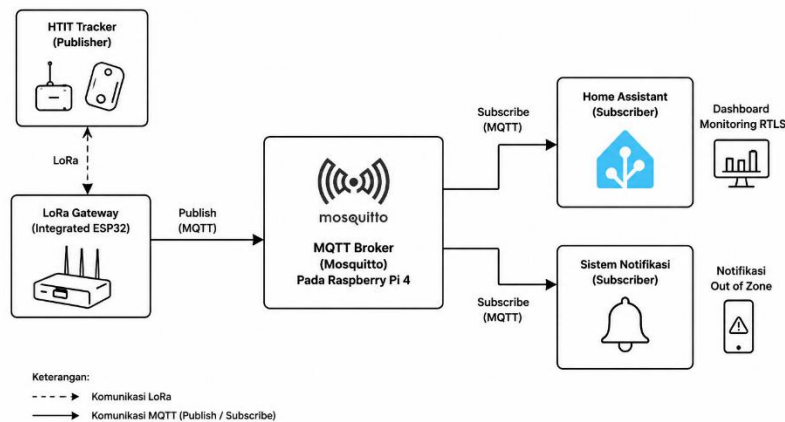
Implementasi IoT dalam manajemen aset dapat memberikan manfaat berupa peningkatan efisiensi operasional, mengurangi ketergantungan pada pencatatan manual, serta peningkatan kemampuan dalam memantau keberadaan aset. Dalam lingkungan pendidikan, penerapan IoT dapat membantu memantau pergerakan alat yang berpindah lokasi serta memberikan informasi ketika alat berada di luar zona yang telah ditentukan. Integrasi berbagai perangkat dan sistem komunikasi memungkinkan data aset dikumpulkan dan diteruskan secara otomatis sehingga mendukung proses *monitoring* dan pelacakan aset secara *real-time*.

Pada penelitian ini, konsep IoT diterapkan melalui integrasi perangkat pelacak berbasis LoRa, *gateway*, MQTT, Raspberry Pi, dan *dashboard monitoring* untuk mendukung proses pemantauan keberadaan dan pergerakan alat praktikum secara *real-time* di lingkungan hanggar pendidikan. Perangkat pelacak mengirimkan data melalui komunikasi LoRa menuju *gateway*, kemudian data diteruskan melalui MQTT ke Raspberry Pi untuk diproses dan ditampilkan pada sistem *monitoring*. Dengan integrasi tersebut, konsep IoT mendukung penerapan RTLS dalam pengelolaan alat praktikum di lingkungan Hanggar Pendidikan.

2.8 Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)

MQTT adalah protokol komunikasi dengan model *publish-subscribe* yang didesain khusus untuk perangkat dengan keterbatasan sumber daya dan aplikasi telemetri. MQTT memiliki mekanisme komunikasi yang sederhana dengan menggunakan *publisher*, *subscriber*, *broker*, dan *topic*. Broker berperan sebagai perantara antara *publisher* dan

subscriber dalam mengatur penerimaan dan penerusan pesan berdasarkan topic yang digunakan [25].



Gambar 2.1 Mekanisme Komunikasi MQTT pada Sistem Monitoring RTLS

Pada penelitian ini, LoRa *Gateway* berperan sebagai *publisher* yang mengirimkan data hasil penerimaan dari HTIT Tracker ke MQTT Broker (Mosquitto) yang berjalan pada Raspberry Pi 4. MQTT *broker* menerima dan meneruskan data berdasarkan *topic* yang digunakan. Selanjutnya, Home Assistant berperan sebagai *subscriber* yang menerima data dari MQTT Broker untuk diproses dan ditampilkan pada *dashboard monitoring*.

2.9 Home Assistant

Home Assistant merupakan *platform open source* yang digunakan untuk mengintegrasikan dan mengelola berbagai perangkat dalam suatu sistem otomasi. *Platform* ini dapat diakses melalui *web browser* sehingga informasi dari perangkat yang terintegrasi dapat dipantau melalui satu antarmuka. Dalam penerapannya, *Home Assistant* OS menyediakan sistem operasi yang dirancang untuk menjalankan *Home Assistant* dan mendukung integrasi dengan berbagai perangkat serta protokol komunikasi termasuk MQTT [26].

Salah satu fitur utama dari *home assistant* adalah kemampuannya untuk mengintegrasikan berbagai perangkat dan layanan dalam satu sistem sehingga data dari perangkat yang terhubung dapat dipantau melalui antarmuka yang tersedia. Dalam sistem *monitoring* aset, integrasi tersebut memungkinkan data yang diterima melalui MQTT ditampilkan dan dikelola pada *dashboard monitoring*. Pada penelitian ini, *Home Assistant* OS dijalankan pada Raspberry Pi 4 dan digunakan sebagai *platform monitoring* untuk menampilkan data yang diterima dari MQTT Broker. Dengan demikian, *Home Assistant*

OS berperan sebagai bagian dari sistem yang menghubungkan data komunikasi dengan tampilan *dashboard* untuk mendukung pemantauan alat praktikum secara *real-time*.

2.10 Dashboard Monitoring

Dashboard merupakan antarmuka sistem informasi yang dirancang untuk menyajikan informasi dari berbagai sumber data secara terintegrasi sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan pemantauan dan pengambilan keputusan [27]. Tampilan antarmuka *dashboard* biasanya menggunakan berbagai elemen visual seperti grafik, diagram, dan indikator performa yang mudah dipahami sehingga menjadi alat bantu yang efektif dalam pengambilan keputusan [28].

Dalam manajemen aset, *dashboard monitoring* berperan penting dalam menyajikan data *real-time* terkait keberadaan, status, dan lokasi alat. Sistem ini biasanya terhubung langsung dengan perangkat pelacakan otomatis yang dapat menginformasikan pergerakan aset dan peringatan apabila aset berpindah dari zona yang telah ditentukan. Semua informasi tersebut disajikan dalam satu layar sehingga dapat mempermudah teknisi atau pengelola dalam mengambil keputusan yang cepat dan tepat berdasarkan data yang tampil.

Pada implementasi sistem *Real-Time Locating System* (RTLS), sistem ini tidak hanya mencatat keberadaan alat praktikum tetapi juga menyajikan informasi pendukung seperti status alat, lokasi terakhir, nilai RSSI, serta notifikasi sehingga memudahkan proses *monitoring* oleh pengelola hanggar. Dengan adanya sistem ini, informasi yang diperoleh dari perangkat RTLS dapat divisualisasikan secara terpusat sehingga memudahkan proses pemantauan, pengelolaan, dan pengambilan keputusan terhadap aset di lingkungan hanggar pendidikan.

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu berperan penting sebagai landasan dalam mengembangkan sistem *monitoring* pelacakan lokasi aset berbasis RTLS di hanggar pendidikan. Berbagai penelitian sebelumnya telah dilakukan terkait implementasi teknologi pelacakan aset pada lingkungan industri, logistik, dan *indoor*. Tinjauan ini bertujuan untuk mengidentifikasi teknologi, metode, serta hasil yang telah dicapai sebagai dasar dalam menentukan pendekatan yang sesuai dengan kebutuhan sistem pada lingkungan Hanggar Pendidikan.

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

Penulis	Teknologi	Tujuan	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
[29]	<i>Ultra-Wideband (UWB)</i>	Mengembangkan pendekatan seleksi berbasis fase untuk sistem UWB RTLS.	Survei & Eksperimen	UWB RTLS terbukti dapat digunakan di berbagai lingkungan kerja dengan akurasi tinggi, mencapai tingkat kesalahan pengukuran kurang dari 40 cm
[30]	<i>Bluetooth Low Energy (BLE)</i>	Menganalisis potensi penggunaan BLE dalam pelacakan objek di industri.	Kuantitatif	Dengan pengolahan data, tingkat kesalahan yang awalnya besar bisa lebih kecil menjadi 1,5 meter dan di anggap layak untuk pelacakan objek di industri.
[31]	LoRa dan LoRaWAN	Mengevaluasi kinerja teknologi LoRa dan LoRaWAN pada lingkungan industri dan lingkungan terbuka berdasarkan tingkat kekuatan sinyal, jangkauan kecepatan, dan kestabilan pengiriman data.	SDLC	Teknologi LoRa dan LoRaWAN terbukti dapat digunakan di lingkungan industri karena mampu mengirim data secara stabil dan efisien meskipun terdapat gangguan.

[32]	BLE (<i>Bluetooth Low Energy</i>) dan LoRa	Mengembangkan sistem pelacakan posisi indoor yang dapat beroperasi secara real-time dan berfungsi dalam kondisi non-line of sight (NLOS).	Waterfall, Kuantitatif	Sistem pelacakan indoor mencapai akurasi rata-rata 1,20 meter pada 90% pengukuran. Penggunaan algoritma filtering dan penempatan beacon yang tepat meningkatkan keandalan dan ketepatan sistem.
[33]	LoRa	Mengembangkan sistem monitoring lokasi dan aktivitas manusia yang efisien, hemat daya, dan memiliki jangkauan luas dengan pengiriman data ke <i>cloud</i> melalui gateway LoRa.	Kualitatif & Kuantitatif	Sistem mampu mengumpulkan dan mengirim data secara akurat dengan jangkauan hingga 3 km, konsumsi daya rendah, serta efektif dalam memantau aktivitas dan lokasi.
Sistem yang Diusulkan	RTLS, LoRa, <i>Dashboard Monitoring</i>	Memantau pergerakan dan lokasi terakhir alat dan memberikan peringatan ketika alat berada di luar zona yang telah ditentukan.	Waterfall	Sistem dirancang untuk memantau keberadaan dan lokasi terakhir alat secara <i>real-time</i> melalui <i>dashboard monitoring</i> serta memberikan informasi ketika alat berada diluar zona yang telah ditentukan.

Berdasarkan hasil kajian terhadap penelitian terdahulu, berbagai teknologi telah digunakan untuk mendukung sistem pelacakan objek dan aset antara lain UWB, BLE, dan LoRa. Masing-masing teknologi memiliki karakteristik dan keunggulan yang berbeda sesuai dengan kebutuhan implementasinya. Penelitian [29] dan [30] lebih berfokus pada peningkatan akurasi pelacakan menggunakan UWB dan BLE, sedangkan penelitian [31] mengevaluasi performa komunikasi LoRa berdasarkan kekuatan sinyal, jangkauan, dan kestabilan transmisi data. Sementara itu, penelitian [32] dan [33] mengembangkan sistem *monitoring* dan pelacakan secara *real-time* pada lingkungan *indoor* dengan memanfaatkan teknologi BLE maupun LoRa.

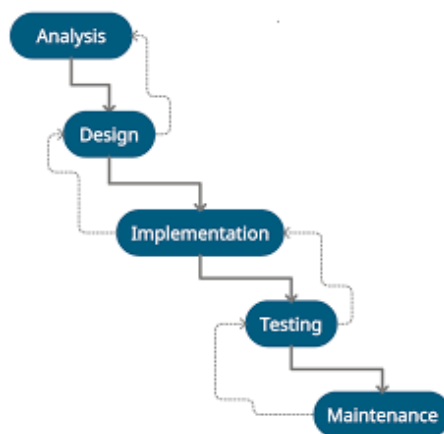
Berdasarkan hasil kajian tersebut, penelitian terdahulu telah membahas penerapan teknologi pelacakan, peningkatan akurasi, serta evaluasi performa komunikasi. Namun, penerapan sistem RTLS yang mengintegrasikan komunikasi LoRa, *dashboard monitoring*, dan mekanisme peringatan untuk mendukung pemantauan alat praktikum pada lingkungan Hanggar Pendidikan masih memiliki ruang untuk dikembangkan. Lingkungan Hanggar Pendidikan memiliki karakteristik *indoor* dengan struktur bangunan yang didominasi material logam yang dapat memengaruhi propagasi sinyal. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya mengimplementasikan sistem *monitoring* pelacakan alat praktikum berbasis RTLS, tetapi juga mengevaluasi karakteristik komunikasi LoRa melalui pengukuran nilai RSSI terhadap variasi jarak antara perangkat pelacak dan *gateway* pada kondisi lingkungan Hanggar Pendidikan.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode pengembangan sistem menggunakan model Waterfall. Pendekatan kuantitatif digunakan karena penelitian melibatkan pengukuran dan analisis data numerik berupa nilai RSSI untuk menganalisis karakteristik komunikasi LoRa antara perangkat pelacak dan *gateway*. Data RSSI yang diperoleh dari hasil pengujian digunakan untuk mengetahui perubahan kekuatan sinyal terhadap variasi jarak antara perangkat pelacak dan *gateway* pada kondisi di lingkungan Hanggar Pendidikan.

Penelitian ini difokuskan pada pengembangan sistem *monitoring* pelacakan lokasi aset berbasis RTLS di Hanggar Pendidikan Politeknik Negeri Batam. Metode Waterfall dipilih karena menyediakan tahapan pengembangan perangkat lunak secara berurutan mulai dari tahap *requirement analysis*, *design system*, *implementation*, *testing*, dan *maintenance* [34]. Pada tahap *testing*, dilakukan pengujian fungsional sistem serta pengukuran nilai RSSI pada beberapa variasi jarak antara perangkat pelacak dan *gateway*. Hasil pengukuran tersebut dianalisis untuk mengetahui karakteristik komunikasi LoRa dalam mendukung sistem *monitoring* alat praktikum secara *real-time*. Selain itu, metode Waterfall membantu mengorganisir dan mengevaluasi setiap tahap pengembangan sistem sehingga dapat menghasilkan sistem dengan baik dan efisien yang memenuhi kebutuhan pengguna [35].



Gambar 3.1 Metode Pengembangan Waterfall

Sumber: Diadaptasi dari Bassil (2012) dan Sommerville (2016)

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Hanggar Program Studi Teknik Perawatan Pesawat Udara (TPPU), Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam. Waktu penelitian dilaksanakan pada Bulan Juli 2025 – Juli 2026. Tahapan penelitian meliputi perencanaan dan studi literatur, *requirement analysis*, *system design*, *implementation*, *testing*, *maintenance*, serta dokumentasi akhir dan publikasi. Rincian waktu pelaksanaan setiap tahapan penelitian dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

[illegible]

Untuk memastikan proyek berjalan sistematis dan terstruktur, maka tahapan penelitian yang terdapat pada tabel 3.1 akan dirinci menggunakan pendekatan *Work Breakdown Structure* (WBS). WBS merupakan metode untuk mendefinisikan dan mengelompokkan tugas-tugas dalam suatu proyek menjadi bagian-bagian yang lebih kecil sehingga lebih mudah dikelola dan dikendalikan selama pelaksanaan penelitian [36].

Tabel 3.2 *Work Breakdown Structure* (WBS) Sistem *Monitoring* Pelacakan Lokasi

No	Tahapan Utama	Sub Tahapan / Aktivitas	Output
1.	Perencanaan & Studi Literatur	1.1 Penentuan ruang lingkup dan latar belakang.	Draft awal proposal.
		1.2 Studi literatur RTLS, komunikasi nirkabel (LoRa, BLE, UWB), gateway, dashboard	<i>Review</i> Teknologi
		1.3 Identifikasi kebutuhan pengguna di hanggar	Ringkasan hasil observasi
		1.4 Perumusan masalah, tujuan, dan batasan sistem	Draft lengkap proposal.
		1.5 Penyusunan proposal	Laporan Proposal
2.	<i>Requirement Analysis</i>	2.1 Pengumpulan data	Dokumen Kebutuhan
		2.2 Analisis lingkungan fisik	Skema Area <i>Monitoring</i> (Ukuran Hanggar, Lokasi, dan ketinggian <i>Gateway</i>)
		2.3 Penyusunan kebutuhan fungsional dan nonfungsional	Spesifikasi <i>Hardware</i> dan <i>Software</i>
3.	<i>Design System</i>	3.1 Desain arsitektur sistem	Diagram arsitektur sistem
		3.2 Desain <i>Dashboard Monitoring</i>	Rancangan UI
		3.3 Perancangan Komunikasi Sistem RTLS	Diagram Komunikasi Sistem
4.	<i>Implementation</i>	4.1 Pembuatan dan Konfigurasi Perangkat RTLS	Tag dan <i>gateway</i> terpasang
		4.2 Pengembangan software <i>dashboard</i>	Sistem <i>dashboard</i>
		4.3 Integrasi data <i>monitoring</i> ke <i>dashboard</i>	<i>Dashboard monitoring</i> yang menampilkan keberadaan, status, lokasi, dan RSSI secara <i>real-time</i> .
		4.4 Implementasi sistem notifikasi ketika aset keluar dari zona	Notifikasi pada <i>dashboard monitoring</i>
5.	<i>Testing</i>	5.1 Pengujian fungsi perangkat dan komunikasi sistem	Log pengujian
		5.2 Pengujian nilai RSSI LoRa pada berbagai variasi jarak	Data hasil pengukuran RSSI LoRa

		5.3 Pengujian tambahan karakteristik komunikasi Wi-Fi dan Bluetooth pada kondisi Hanggar Pendidikan	Data hasil pengujian Wi-Fi dan Bluetooth
		5.4 Analisis hasil pengukuran dan karakteristik komunikasi	Grafik, tabel, dan interpretasi hasil pengujian
6.	<i>Maintenance</i>	6.1 Evaluasi performa dan troubleshooting	Perbaikan sistem
7.	Dokumentasi Akhir & Publikasi	7.1 Penyusunan Laporan Akhir	Laporan Lengkap
		7.2 Publikasi	Artikel

3.3 Objek Penelitian

Objek pada penelitian ini adalah sistem *monitoring* pelacakan lokasi alat praktikum berbasis RTLS yang diterapkan di Hanggar Pendidikan Politeknik Negeri Batam. Objek yang dipantau dalam sistem ini meliputi alat praktikum seperti kunci, obeng, dan peralatan teknis lainnya yang disimpan dalam rak perkakas merek Facom yang digunakan di Hanggar Pendidikan tersebut.

Sistem *monitoring* yang dikembangkan memanfaatkan teknologi komunikasi LoRa sebagai komunikasi utama untuk mengirimkan data dari perangkat pelacak menuju *gateway*. Data yang diterima oleh *gateway* kemudian diteruskan melalui MQTT ke Raspberry Pi 4 untuk diproses dan ditampilkan melalui *dashboard monitoring*. Sistem difokuskan pada pemantauan keberadaan, status, dan lokasi alat praktikum secara *real-time* di area Hanggar Pendidikan Politeknik Negeri Batam.

Selain implementasi sistem berbasis LoRa, penelitian ini juga melakukan pengujian tambahan terhadap karakteristik komunikasi Wi-Fi dan Bluetooth pada kondisi lingkungan Hanggar Pendidikan. Pengujian tersebut digunakan sebagai data pendukung dalam pembahasan karakteristik komunikasi nirkabel pada lingkungan penelitian sedangkan LoRa tetap menjadi teknologi komunikasi utama dalam sistem yang dikembangkan.

3.4 Metode Pengembangan Sistem

Penelitian ini menggunakan metode *Waterfall* dalam pengembangan sistem dengan tahapan yang dilakukan secara berurutan. Tahapan pengembangan sistem meliputi *requirement analysis*, *system design*, *implementation*, *testing*, dan *maintenance*.

3.4.1 Requirement Analysis (Analisis Kebutuhan)

Tahap *requirement analysis* dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan pengguna dan kebutuhan sistem sebagai dasar dalam perancangan sistem monitoring

pelacakan lokasi aset tools. Analisis kebutuhan dilakukan melalui observasi langsung, diskusi dengan pihak pengelola penyimpanan alat (*storeman*), dan studi dokumentasi di Hanggar Pendidikan Politeknik Negeri Batam. Observasi dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi lingkungan *monitoring*, jenis aset yang digunakan, media penyimpanan *tools*, area aktivitas, serta kondisi aktual pengelolaan aset. Diskusi dengan *storeman* dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai kebutuhan pemantauan aset dan kondisi pengelolaan tools di lokasi penelitian. Sementara itu, studi dokumentasi dilakukan dengan memanfaatkan dokumen *Checklist Toolbox* sebagai salah satu sumber informasi mengenai inventaris dan pemeriksaan keberadaan *tools*.

Hasil observasi menunjukkan bahwa alat praktikum yang digunakan dalam kegiatan perawatan pesawat udara disimpan pada toolbox bermerek Facom yang terdapat di Hanggar Pendidikan. *Toolbox* tersebut terdiri atas beberapa laci yang digunakan untuk menyimpan berbagai jenis tools. Kondisi tersebut menjadi dasar dalam menentukan aset yang digunakan sebagai objek *monitoring* pada penelitian.



Gambar 3.2 Kondisi *Toolbox* Facom Sebagai Media Penyimpanan *Tools*

Selanjutnya, dilakukan pengamatan terhadap jenis dan susunan *tools* yang terdapat pada *toolbox*. Identifikasi tersebut dilakukan untuk mengetahui karakteristik aset yang menjadi objek pemantauan serta mempertimbangkan pemasangan perangkat pelacak pada aset yang dipilih.



Gambar 3.3 Kondisi *Tools* pada *Toolbox* Facom

Selain observasi kondisi aset, analisis kebutuhan didukung oleh studi dokumentasi terhadap *Checklist Toolbox* yang digunakan dalam proses pemeriksaan keberadaan *tools*. Dokumen tersebut memuat informasi mengenai item peralatan, deskripsi, *part number*, jumlah, serta pencatatan kondisi *Out* dan *In* pada proses pemeriksaan. Dokumen tersebut digunakan sebagai salah satu dasar dalam mengidentifikasi kebutuhan sistem untuk menyediakan informasi keberadaan aset secara lebih terstruktur dan dapat dipantau secara digital.

CHECKLIST TOOLBOX													3A FACOM	
No	Description	Part Number	Qty	Date										Remarks
				2024/05/14	2024/05/15	2024/05/16	2024/05/17	2024/05/18	2024/05/19	2024/05/20	2024/05/21	2024/05/22	2024/05/23	
1	1/8" Drive Long Socket 1/4"	1.141.A	1 ea											
2	1/8" Drive Long Socket 3/16"	2.513.A	1 ea											
3	1/8" Drive Long Socket 3/8"	3.331.A	1 ea											
4	1/8" Drive Long Socket 7/16"	7.146.A	1 ea											
5	1/8" Drive Long Socket 1"	1.111.A	1 ea											
6	3/8" Drive Long Socket 9/16"	1.916.A	1 ea											
7	3/8" Drive Long Socket 5/8"	2.514.A	1 ea											
8	3/8" Drive Long Socket 1 1/8"	1.111.B.A	1 ea											
9	3/8" Drive Long Socket 3/4"	1.141.A	1 ea											
10	3/8" Drive Long Socket 1 1/4"	1.141.B.A	1 ea											
11	1/2" Drive Socket 7/16"	RB.316	1 ea											
12	1/2" Drive Socket 7/8"	RB.332	1 ea											
13	1/2" Drive Socket 1"	RB.314	1 ea											
14	1/2" Drive Socket 1 1/8"	RB.333	1 ea											
15	1/2" Drive Socket 1 1/4"	RB.315	1 ea											
16	1/2" Drive Socket 1 1/2"	RB.317	1 ea											
17	1/2" Drive Socket 1 3/4"	RB.318	1 ea											
18	1/2" Drive Socket 2"	RB.319	1 ea											
19	1/2" Drive Socket 2 1/4"	RB.320	1 ea											
20	1/2" Drive Socket 2 1/2"	RB.321	1 ea											
21	3/4" Drive Socket 1 1/4"	RB.322	1 ea											
22	3/4" Drive Socket 1 1/2"	RB.323	1 ea											
23	3/4" Drive Socket 1 3/4"	RB.324	1 ea											
24	3/4" Drive Socket 2"	RB.325	1 ea											
25	3/4" Drive Socket 2 1/4"	RB.326	1 ea											
26	3/4" Drive Socket 2 1/2"	RB.327	1 ea											
27	3/4" Drive Socket 2 3/4"	RB.328	1 ea											
28	1" Drive Socket 1 1/4"	RB.329	1 ea											
29	1" Drive Socket 1 1/2"	RB.330	1 ea											
30	1" Drive Socket 1 3/4"	RB.331	1 ea											
31	1" Drive Socket 2"	RB.332	1 ea											
32	1" Drive Socket 2 1/4"	RB.333	1 ea											
33	1" Drive Socket 2 1/2"	RB.334	1 ea											
34	1" Drive Socket 2 3/4"	RB.335	1 ea											
35	1 1/8" Drive Socket 1 1/4"	RB.336	1 ea											
36	1 1/8" Drive Socket 1 1/2"	RB.337	1 ea											
37	1 1/8" Drive Socket 1 3/4"	RB.338	1 ea											
38	1 1/8" Drive Socket 2"	RB.339	1 ea											
39	1 1/8" Drive Socket 2 1/4"	RB.340	1 ea											
40	Drive Adapter Socket	RB.341	1 ea											
41	1/4" Standard Ratchet	RB.342	1 ea											
42	1/4" Drive Extension 100 mm	RB.343	1 ea											
43	1/4" Drive Extension 150 mm	RB.344	1 ea											
44	1/4" Drive Extension 200 mm	RB.345	1 ea											
45	1/4" Standard Ratchet	RB.346	1 ea											
46	Drive Extension 150 mm	RB.347	1 ea											
47	Drive Extension 250 mm	RB.348	1 ea											

Gambar 3.4 Dokumen *Checklist Toolbox*

Berdasarkan hasil observasi, diskusi dengan *storeman*, dan studi dokumentasi tersebut, kebutuhan sistem didefinisikan menjadi beberapa bagian sebagai berikut.

- Kebutuhan Pengguna

Dari sisi pengguna, kebutuhan utama sistem adalah menyediakan *dashboard monitoring* yang dapat digunakan untuk memantau keberadaan aset *tools* di Hanggar Pendidikan. Sistem diharapkan dapat menampilkan informasi identitas perangkat, lokasi, koordinat, status, dan nilai RSSI secara *real-time*. Selain itu, sistem perlu memberikan notifikasi ketika perangkat terdeteksi berada di luar zona *monitoring* yang telah ditentukan. Informasi tersebut digunakan untuk membantu pengguna dalam melakukan pemantauan keberadaan aset dan mendukung pengelolaan *tools* di Hanggar Pendidikan.

- Kebutuhan Sistem

Berdasarkan kebutuhan pengguna tersebut, sistem dirancang untuk mendukung proses pengiriman, penerimaan, pengolahan, dan penyajian data *monitoring*. HTIT Tracker digunakan sebagai perangkat pelacak yang mengirimkan data melalui komunikasi LoRa menuju LoRa Gateway. Data selanjutnya diteruskan melalui jaringan lokal menuju Raspberry Pi 4 yang menjalankan MQTT Broker dan Home Assistant. Data yang diterima kemudian diproses dan ditampilkan pada Dashboard RTLS. Sistem juga harus mampu menentukan status perangkat berdasarkan zona *monitoring* dan memberikan notifikasi ketika perangkat berada di luar zona yang telah ditentukan.

Berdasarkan kebutuhan sistem tersebut, perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan dalam pembangunan sistem *monitoring* pelacakan lokasi aset *tools* di Hanggar Pendidikan dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

Tabel 3.3 Kebutuhan Perangkat Keras

No	Nama Perangkat	Kegunaan
1.	HTIT tracker	Perangkat pelacak yang dipasang pada alat praktikum untuk mengirimkan data melalui komunikasi LoRa.
2.	LoRa Gateway	Menerima data dari HTIT tracker melalui komunikasi LoRa dan meneruskannya ke Raspberry Pi 4 melalui Jaringan lokal (LAN).

3.	Router TP-Link	Menyediakan jaringan lokal (LAN) untuk komunikasi antara <i>gateway</i> dan Raspberry Pi 4.
4.	Raspberry Pi 4	Menjalankan MQTT <i>broker</i> dan <i>Home Assistant</i> sebagai <i>server monitoring</i> .
5.	Laptop / PC Monitoring	Mengakses <i>dashboard Home Assistant</i> melalui <i>web browser</i> untuk memantau keberadaan dan status alat.

Tabel 3.4 Kebutuhan Perangkat Lunak

No	Nama Perangkat	Kegunaan
1.	Arduino IDE	Mengembangkan dan mengunggah program ke ESP32 pada HTIT tracker dan <i>gateway</i> .
2.	MQTT broker	Menerima dan meneruskan data dari <i>gateway</i> ke <i>Home Assistant</i> menggunakan protokol MQTT.
3.	<i>Home Assistant</i>	Menampilkan <i>dashboard monitoring</i> , mengelola data <i>monitoring</i> , dan menampilkan notifikasi ketika alat berada di luar zona yang telah ditentukan.

3.4.2 Design

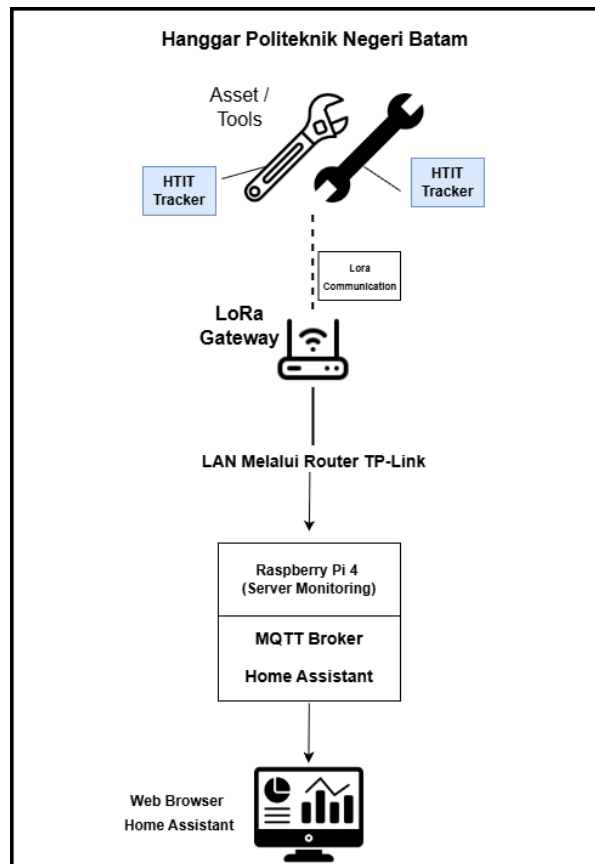
Pada tahap ini, dilakukan perancangan sistem secara menyeluruh untuk mendukung implementasi sistem pelacakan lokasi aset di Hanggar Pendidikan. Perancangan ini meliputi arsitektur sistem, *dashboard monitoring*, dan diagram alir proses kerja sistem sehingga seluruh komponen dapat saling terintegrasi sesuai dengan kebutuhan fungsional sistem.

3.4.2.1 Desain Arsitektur Sistem

Sistem pelacakan lokasi alat praktikum di Hanggar Pendidikan Politeknik Negeri Batam dirancang untuk memantau keberadaan, lokasi, dan status alat praktikum secara *real-time*. Setiap alat praktikum dipasang HTIT Tracker yang berfungsi mengirimkan data melalui komunikasi LoRa. Data yang dikirimkan oleh HTIT Tracker diterima oleh LoRa Gateway, kemudian diteruskan melalui jaringan lokal (LAN) menggunakan router TP-Link menuju Raspberry Pi 4.

Raspberry Pi 4 menjalankan MQTT Broker sebagai media pertukaran data serta *Home Assistant* sebagai *platform monitoring*. Data yang diterima

oleh MQTT broker diteruskan ke *Home Assistant* untuk diproses dan ditampilkan melalui *dashboard monitoring* berbasis web. *Dashboard* digunakan untuk menampilkan informasi keberadaan, lokasi, status, dan nilai RSSI alat secara *real-time*. Selain itu, *dashboard* memberikan notifikasi ketika alat berada diluar zona yang telah ditentukan sehingga pengguna dapat segera mengetahui kondisi tersebut dan melakukan tindakan yang diperlukan.

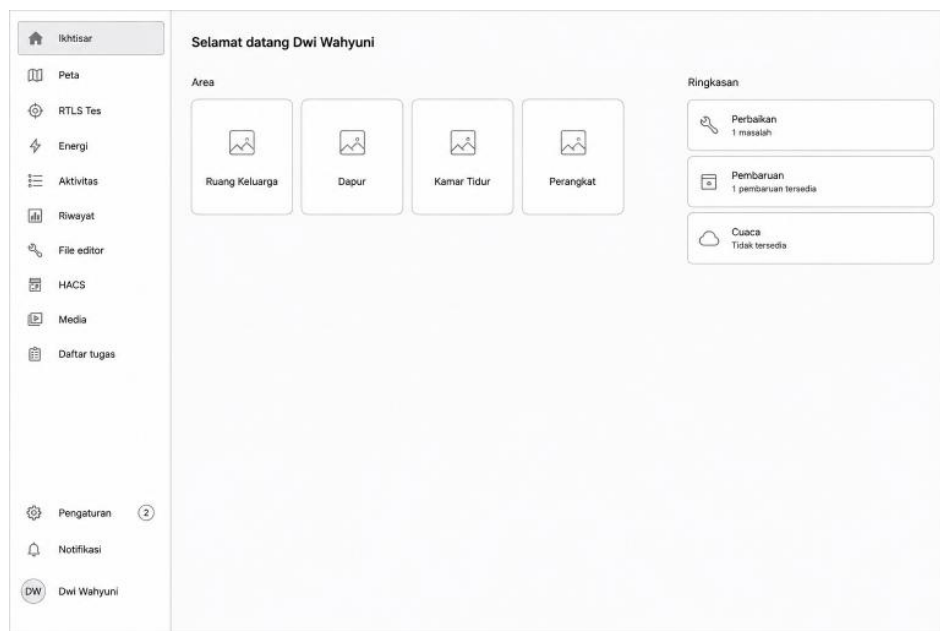


Gambar 3.5 Desain Arsitektur Sistem

3.4.2.2 Desain Dashboard

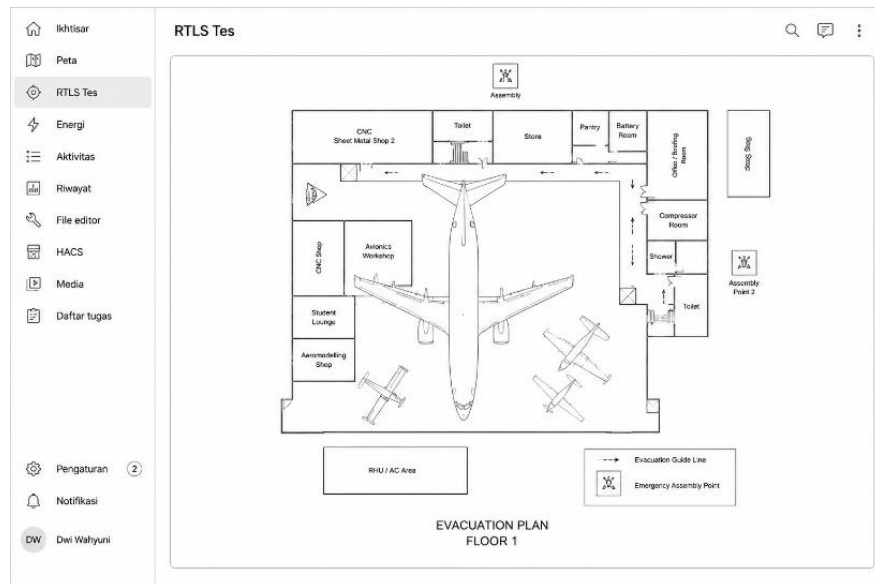
Perancangan antarmuka *dashboard* dilakukan sebagai media interaksi antara pengguna dengan sistem *monitoring* aset berbasis *Real-Time Location System* (RTLS). Antarmuka dikembangkan menggunakan *platform Home Assistant* dengan tujuan menyajikan informasi hasil *monitoring* aset secara terpusat dalam bentuk yang mudah dipahami oleh pengguna. Perancangan *dashboard* memperhatikan aspek kemudahan penggunaan (*usability*),

keterbacaan informasi (*readability*), serta kemudahan navigasi sehingga pengguna dapat mengakses informasi *monitoring* aset secara efektif.



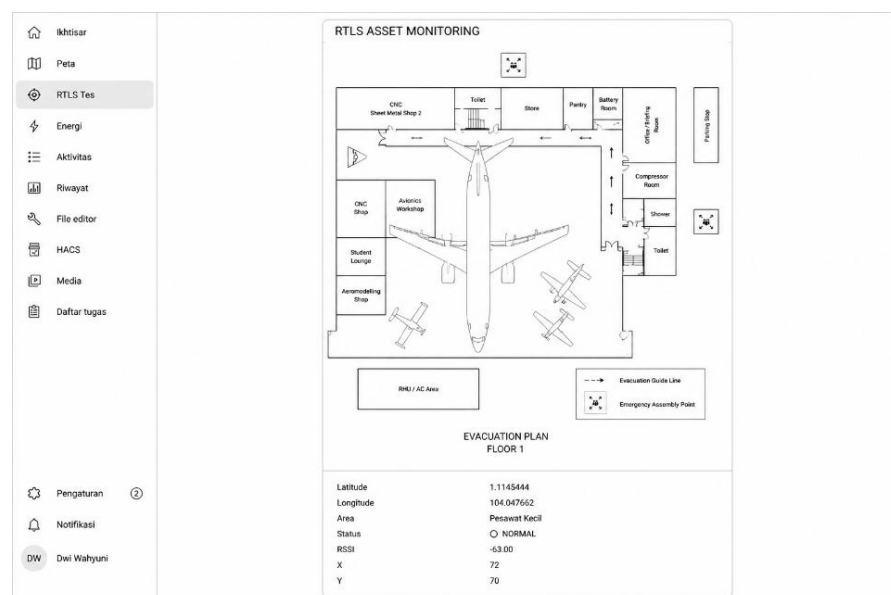
Gambar 3.6 Desain Tampilan Dashboard

Gambar 3.6 merupakan halaman awal yang ditampilkan setelah pengguna berhasil mengakses sistem *Home Assistant*. Halaman ini berfungsi sebagai tampilan utama yang memberikan ringkasan informasi serta menyediakan menu navigasi menuju halaman-halaman *monitoring* yang tersedia. Pada rancangan ini disediakan panel navigasi di sisi kiri yang memudahkan pengguna berpindah antarhalaman, sedangkan area utama digunakan untuk menampilkan ringkasan informasi sistem. Halaman ini menjadi titik awal interaksi pengguna sebelum mengakses halaman *dashboard* RTLS yang digunakan untuk melakukan proses *monitoring* aset.

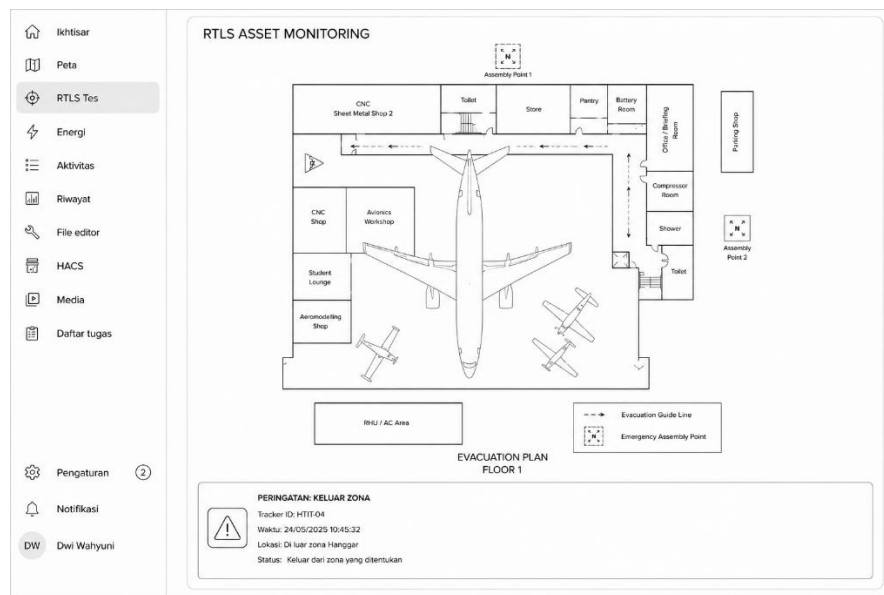


Gambar 3.7 Desain Tampilan Dashboard RTLS

Dashboard RTLS merupakan halaman utama yang digunakan untuk melakukan *monitoring* aset pada Hanggar Pendidikan. Halaman ini menampilkan denah hanggar sebagai representasi area dan zona *monitoring* aset. Denah tersebut digunakan sebagai dasar untuk menampilkan informasi lokasi perangkat yang terhubung dengan sistem. Selain denah, *dashboard* dirancang untuk menyajikan informasi identitas perangkat, nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), status perangkat, serta waktu pembaruan data yang diterima dari sistem. Penyajian informasi dilakukan secara terpusat sehingga pengguna dapat memantau kondisi aset melalui satu tampilan antarmuka.



Gambar 3.8 Desain Tampilan Saat Status Normal

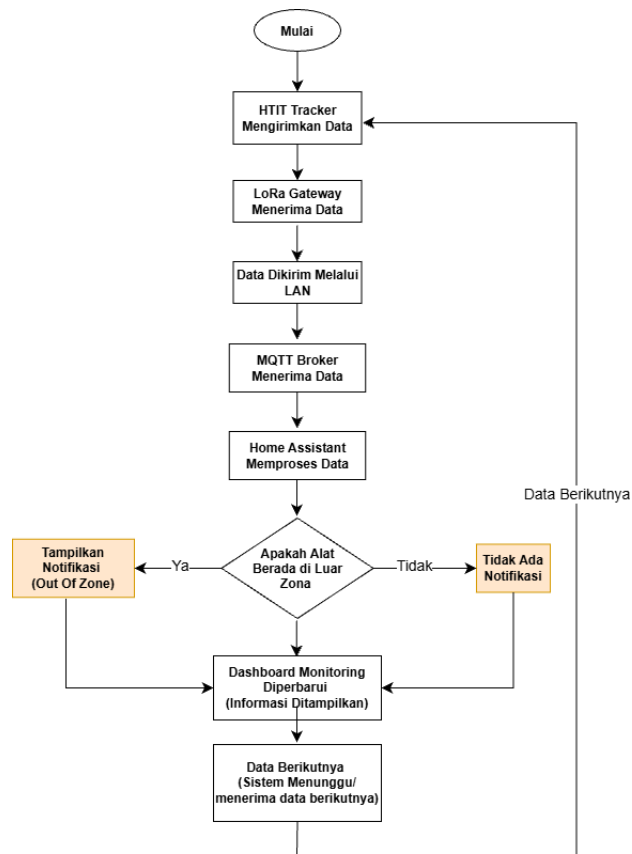


Gambar 3.9 Desain Tampilan Saat Status Keluar Zona

Selain menampilkan kondisi normal, *dashboard* juga dirancang untuk memberikan notifikasi apabila sistem mendeteksi aset berada di luar zona yang telah ditentukan. Pada kondisi tersebut, dashboard akan menampilkan status *Out of Zone* sebagai bentuk peringatan kepada pengguna. Informasi yang ditampilkan meliputi identitas perangkat, lokasi aset berdasarkan zona, nilai RSSI, serta waktu terjadinya peristiwa. Dengan adanya tampilan peringatan ini, pengguna dapat segera mengetahui adanya penyimpangan lokasi dan melakukan tindakan yang diperlukan.

3.4.2.3 Diagram Alir Sistem

Diagram alir sistem pada penelitian ini menggambarkan tahapan proses kerja sistem *monitoring* pelacakan lokasi alat praktikum, mulai dari pengiriman data oleh HTIT Tracker hingga proses pemantauan dan pemberian notifikasi ketika alat berada diluar zona yang telah ditentukan. Diagram alir sistem dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Diagram Alir Sistem

Berdasarkan Gambar 3.10, proses sistem dimulai ketika HTIT Tracker mengirimkan data melalui komunikasi LoRa dan data tersebut diterima oleh LoRa gateway. Selanjutnya, data diteruskan melalui jaringan lokal (LAN) menuju MQTT Broker yang berjalan pada Raspberry Pi 4. MQTT Broker menerima data dan meneruskannya ke *Home Assistant* untuk diproses. Data yang telah diproses kemudian digunakan untuk memperbarui *dashboard monitoring* secara *real-time* sehingga informasi keberadaan, lokasi, status, dan nilai RSSI alat dapat ditampilkan kepada pengguna.

Setelah data diproses, sistem melakukan pemeriksaan untuk mengetahui apakah alat berada di luar zona yang telah ditentukan. Apabila alat masih berada di dalam zona, sistem tidak menampilkan notifikasi dan proses *monitoring* dilanjutkan. Sebaliknya, apabila alat berada di luar zona, sistem menampilkan notifikasi atau peringatan pada *dashboard* sehingga pengguna dapat mengetahui adanya penyimpangan lokasi dan melakukan tindak lanjut sesuai kebutuhan. Setelah informasi diperbarui pada *dashboard*, sistem

menunggu dan menerima data berikutnya dari HTIT Tracker sehingga proses *monitoring* dapat berlangsung secara berkelanjutan.

3.4.3 *Implementation*

Tahap implementasi merupakan proses merealisasikan hasil analisis kebutuhan dan perancangan sistem menjadi sistem *monitoring* pelacakan lokasi alat praktikum yang dapat beroperasi sesuai dengan fungsi yang telah dirancang. Pada tahap ini dilakukan konfigurasi dan integrasi perangkat keras serta perangkat lunak sehingga seluruh komponen sistem dapat saling berkomunikasi.

Implementasi perangkat keras diawali dengan pemasangan HTIT Tracker pada alat praktikum yang menjadi objek pemantauan. HTIT tracker dikonfigurasi untuk mengirimkan data melalui komunikasi LoRa menuju Lora *gateway* yang ditempatkan pada area Hanggar Pendidikan Politeknik Negeri Batam. Selanjutnya, LoRa *gateway* dikonfigurasi untuk menerima data dari HTIT Tracker dan meneruskannya ke Raspberry Pi 4 melalui jaringan lokal (LAN) yang dibangun menggunakan router TP-Link.

Raspberry Pi 4 berfungsi sebagai server *monitoring* yang menjalankan MQTT Broker dan *Home Assistant*. MQTT broker digunakan sebagai perantara pertukaran data antara *gateway* dan *Home Assistant*, sedangkan *Home Assistant* digunakan sebagai *platform monitoring* untuk mengelola data, menampilkan *dashboard* berbasis web, serta memberikan notifikasi ketika alat berada di luar zona yang telah ditentukan.

Setelah seluruh perangkat berhasil dikonfigurasi, dilakukan proses integrasi sistem untuk memastikan data yang dikirim oleh HTIT tracker dapat diterima oleh LoRa *gateway*, diteruskan melalui jaringan lokal ke Raspberry Pi 4, kemudian diproses oleh MQTT Broker dan *Home Assistant* hingga ditampilkan pada *dashboard monitoring* secara *real-time*. Tahap implementasi ini menjadi dasar sebelum sistem memasuki tahap pengujian untuk mengevaluasi kinerja komunikasi LoRa berdasarkan nilai RSSI pada berbagai variasi jarak.

3.4.4 *Testing*

Tahap *testing* dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dan fungsi sistem *monitoring* pelacakan lokasi alat praktikum setelah seluruh komponen sistem berhasil diimplementasikan dan diintegrasikan. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem dapat menjalankan fungsi komunikasi, pemantauan

lokasi, deteksi zona, penyajian informasi, serta integrasi data sesuai dengan kebutuhan yang telah ditetapkan.

Pengujian sistem meliputi pengujian komunikasi berdasarkan nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), pengujian perbandingan karakteristik komunikasi LoRa, Wi-Fi, dan Bluetooth, pengujian deteksi zona dan notifikasi, serta pengujian integrasi sistem. Pengujian penerimaan pengguna (*User Acceptance Testing/UAT*) juga dilakukan untuk mengetahui tingkat penerimaan pengguna terhadap sistem *monitoring* yang telah dikembangkan.

Pengujian RSSI LoRa dilakukan sebagai pengujian utama terhadap teknologi komunikasi yang digunakan dalam sistem RTLS. HTIT Tracker ditempatkan pada beberapa variasi jarak terhadap LoRa Gateway dan nilai RSSI yang diterima dicatat pada setiap titik pengujian. Data tersebut digunakan untuk menganalisis hubungan antara jarak dan kekuatan sinyal komunikasi LoRa.

Selain LoRa, dilakukan pengujian tambahan terhadap Wi-Fi dan Bluetooth pada kondisi lingkungan yang sama. Pengujian tersebut menggunakan RSSI sebagai parameter pembanding untuk mengetahui karakteristik perubahan kekuatan sinyal masing-masing teknologi terhadap variasi jarak. Hasil pengujian ketiga teknologi kemudian dibandingkan untuk memberikan dasar empiris dalam mengevaluasi kesesuaian LoRa sebagai teknologi komunikasi utama pada sistem.

Pengujian deteksi zona dilakukan dengan mengamati perubahan status perangkat ketika HTIT Tracker berada di dalam dan di luar area pemantauan yang telah ditentukan. Sistem dinilai berhasil apabila mampu menampilkan status Normal ketika perangkat berada di dalam zona dan Out of Zone serta memberikan notifikasi ketika perangkat berada di luar batas zona.

Selanjutnya, pengujian integrasi sistem dilakukan untuk memastikan seluruh komponen dapat bekerja dalam satu alur komunikasi, mulai dari HTIT Tracker, LoRa Gateway, MQTT Broker, Raspberry Pi 4, Home Assistant, hingga Dashboard RTLS. Pengujian ini dilakukan dengan mengamati proses pengiriman, penerimaan, penerusan, pemrosesan, dan penyajian data pada setiap tahapan sistem.

Untuk melengkapi pengujian teknis, dilakukan *User Acceptance Testing* (UAT) dengan melibatkan pengguna sebagai responden. UAT digunakan untuk mengetahui tingkat penerimaan pengguna terhadap kemudahan penggunaan sistem, pemahaman informasi pada dashboard, fungsi visualisasi lokasi, deteksi zona, notifikasi, serta

manfaat sistem dalam mendukung proses *monitoring* aset *tools* di Hanggar Pendidikan.

3.4.4.1 Pengujian RSSI Berdasarkan Variasi Jarak

RSSI merupakan nilai yang menunjukkan kekuatan sinyal yang diterima oleh perangkat penerima. Nilai RSSI umumnya dipengaruhi oleh jarak antara perangkat pengirim dan penerima serta kondisi lingkungan di sekitar perangkat [37]. Pada nilai RSSI yang dinyatakan dalam dBm, nilai yang semakin negatif menunjukkan kekuatan sinyal yang semakin lemah.

Pada penelitian ini, pengujian RSSI LoRa dilakukan dengan mengukur nilai RSSI yang diterima oleh LoRa Gateway dari HTIT Tracker pada beberapa variasi jarak. Pada setiap titik pengujian, nilai RSSI dicatat dan digunakan untuk menganalisis kecenderungan perubahan kekuatan sinyal terhadap pertambahan jarak.

Pengujian dilakukan pada kondisi lingkungan Hanggar Pendidikan yang memiliki berbagai objek dan struktur fisik seperti struktur logam, badan pesawat, serta peralatan praktikum. Kondisi tersebut diperhatikan karena dapat memengaruhi propagasi sinyal dan menyebabkan perubahan nilai RSSI pada titik pengukuran yang berbeda.

3.4.4.2 Pengujian RSSI Wi-Fi

Pengujian RSSI Wi-Fi dilakukan sebagai pengujian tambahan untuk mengetahui karakteristik kekuatan sinyal Wi-Fi pada lingkungan Hanggar Pendidikan. Pengukuran dilakukan pada beberapa variasi jarak yang telah ditentukan dengan mencatat nilai RSSI yang diterima oleh perangkat pada setiap titik pengujian.

Data hasil pengukuran RSSI Wi-Fi digunakan sebagai data pembandingan terhadap hasil pengujian RSSI LoRa pada lingkungan penelitian. Pengujian ini bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai perubahan kekuatan sinyal Wi-Fi terhadap jarak pada kondisi lingkungan hanggar.

3.4.4.3 Pengujian RSSI Bluetooth

Pengujian RSSI Bluetooth dilakukan sebagai pengujian tambahan untuk mengetahui karakteristik kekuatan sinyal Bluetooth pada lingkungan Hanggar Pendidikan. Pengukuran dilakukan pada beberapa variasi jarak

dengan mencatat nilai RSSI yang diterima oleh perangkat pada setiap titik pengujian.

Data hasil pengukuran RSSI Bluetooth digunakan sebagai data pembandingan terhadap hasil pengujian RSSI LoRa dan Wi-Fi. Hasil tersebut memberikan gambaran mengenai karakteristik perubahan kekuatan sinyal Bluetooth terhadap jarak pada kondisi lingkungan hanggar.

3.4.4.4 Analisis Hasil Pengujian

Data hasil pengujian RSSI LoRa, Wi-Fi, dan Bluetooth dianalisis berdasarkan variasi jarak dan kondisi lingkungan pengujian. Analisis utama difokuskan pada hubungan antara jarak dan nilai RSSI LoRa sebagai parameter evaluasi komunikasi pada sistem RTLS yang dikembangkan. Sementara itu, hasil pengujian Wi-Fi dan Bluetooth digunakan sebagai data pendukung untuk membandingkan karakteristik kekuatan sinyal ketiga teknologi pada kondisi lingkungan Hanggar Pendidikan.

Hasil analisis selanjutnya digunakan untuk memberikan gambaran mengenai karakteristik komunikasi nirkabel pada lingkungan penelitian dan mendukung pembahasan mengenai kesesuaian LoRa sebagai teknologi komunikasi utama dalam sistem *monitoring* pelacakan lokasi alat praktikum.

3.4.5 Maintenance

Tahap *maintenance* merupakan tahap pemeliharaan dan perbaikan sistem yang dilakukan berdasarkan hasil implementasi dan pengujian. Tahap ini bertujuan untuk memastikan sistem *monitoring* pelacakan lokasi alat praktikum tetap dapat berfungsi sesuai dengan kebutuhan dan rancangan yang telah ditetapkan.

Kegiatan pemeliharaan meliputi pemeriksaan kondisi perangkat keras, seperti HTIT Tracker, LoRa Gateway, router TP-Link, dan Raspberry Pi 4 untuk memastikan setiap perangkat dapat beroperasi dengan baik. Selain itu, dilakukan pemeriksaan dan penyesuaian konfigurasi perangkat lunak, seperti MQTT Broker dan Home Assistant, apabila ditemukan kendala selama proses implementasi dan pengujian.

Apabila ditemukan kendala atau kesalahan pada sistem selama proses evaluasi, dilakukan perbaikan dan penyesuaian terhadap konfigurasi perangkat maupun perangkat lunak sesuai dengan hasil pengujian. Tahap *maintenance* dilakukan untuk

menjaga agar sistem dapat berfungsi sesuai dengan rancangan serta mendukung proses *monitoring* alat praktikum secara berkelanjutan.

BAB IV. HASIL & PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil implementasi dan pengujian sistem *monitoring* pelacakan lokasi aset *tools* berbasis RTLS yang telah dirancang pada bab sebelumnya. Implementasi dilakukan menggunakan HTIT Tracker sebagai perangkat pelacak, LoRa *Gateway* sebagai penerima data, Raspberry Pi 4 sebagai server lokal, MQTT Broker sebagai perantara pertukaran data, serta *Home Assistant* sebagai *platform monitoring*. Selanjutnya dilakukan pengujian sistem untuk mengevaluasi fungsionalitas dan performa komunikasi berdasarkan nilai RSSI pada berbagai variasi jarak.

4.1 Hasil Implementasi Sistem

Tahap implementasi sistem merupakan proses penerapan hasil perancangan menjadi sistem *monitoring* yang dapat digunakan untuk memantau lokasi alat praktikum di Hanggar Pendidikan Politeknik Negeri Batam. Implementasi dilakukan dengan mengintegrasikan perangkat keras yang terdiri dari HTIT Tracker, LoRa *Gateway*, Router TP-Link, dan Raspberry Pi 4, serta perangkat lunak berupa MQTT Broker dan *Home Assistant* sebagai bagian dari sistem komunikasi dan *monitoring*.

Pada tahap ini dilakukan konfigurasi setiap perangkat agar dapat saling terhubung melalui jaringan lokal. Data yang dikirim oleh HTIT tracker diterima oleh LoRa *gateway* kemudian diteruskan melalui Router TP-link menuju Raspberry Pi 4. Selanjutnya, data diterima oleh MQTT broker dan diteruskan ke *Home Assistant* untuk diproses serta ditampilkan pada *dashboard monitoring*. Implementasi ini menjadi dasar untuk melakukan pengujian terhadap fungsional sistem dan pengujian karakteristik pada tahap berikutnya.

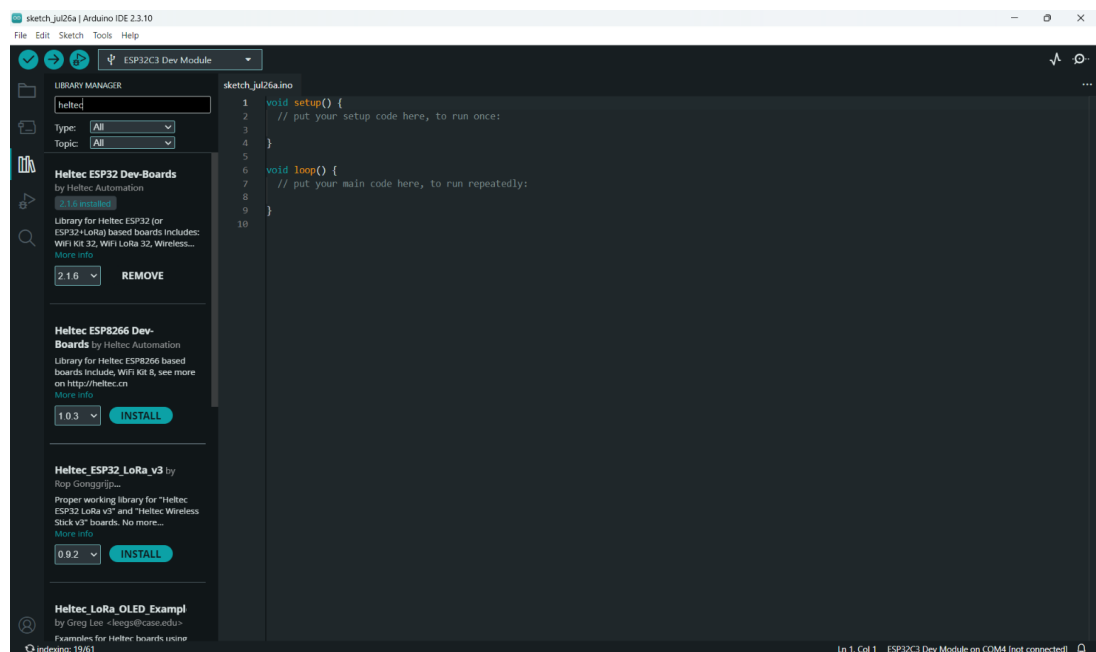
4.1.1 Implementasi HTIT Tracker

Tahap implementasi sistem diawali dengan menyiapkan HTIT Tracker sebagai perangkat pelacak yang digunakan untuk mengirimkan data pada sistem monitoring. HTIT Tracker yang digunakan dalam penelitian ini merupakan perangkat Heltec Automation HTIT Tracker berbasis ESP32-S3 yang mengintegrasikan komunikasi LoRa, Wi-Fi, dan Bluetooth, serta modul GNSS. Perangkat ini mendukung komunikasi LoRa pada rentang frekuensi 863–928 MHz dan dilengkapi kemampuan komunikasi Wi-Fi serta Bluetooth sehingga dapat digunakan untuk mendukung implementasi sistem monitoring berbasis RTLS sekaligus pengujian karakteristik komunikasi nirkabel pada lingkungan Hanggar Pendidikan.



Gambar 4.1 HTIT Tracker Heltec Automation

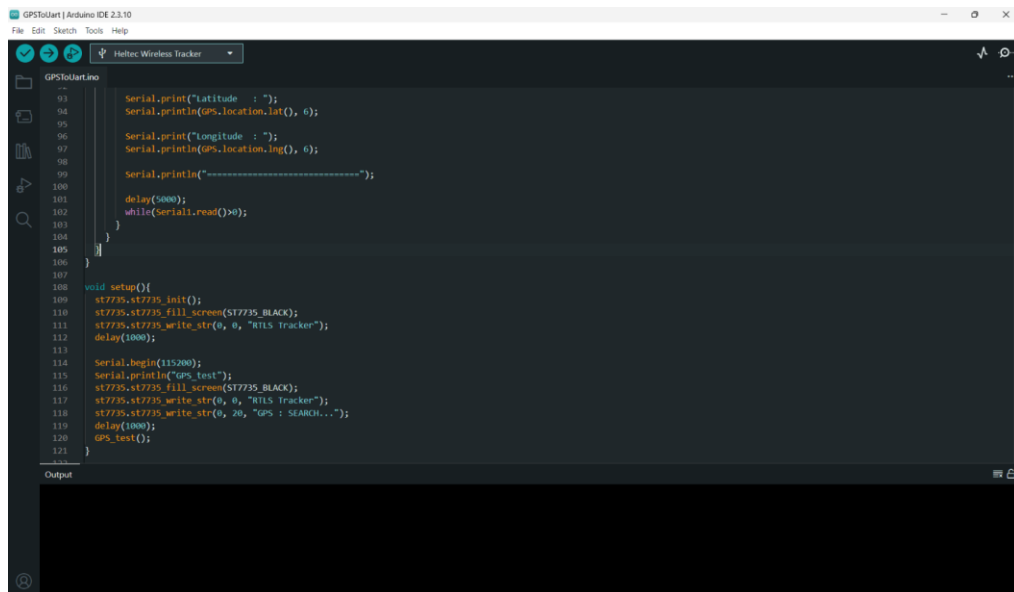
Setelah perangkat disiapkan, tahap berikutnya adalah melakukan konfigurasi HTIT Tracker menggunakan Arduino IDE. Perangkat dihubungkan ke laptop menggunakan kabel USB sehingga dapat dikenali oleh sistem. Selanjutnya dilakukan instalasi board package Heltec ESP32 melalui Boards Manager pada Arduino IDE agar perangkat HTIT Tracker dapat dikenali dan diprogram sesuai kebutuhan sistem.



Gambar 4.2 Instalasi Board ESP32 pada Arduino IDE

Tahap selanjutnya adalah melakukan instalasi dan konfigurasi board package Heltec ESP32 pada Arduino IDE. Berdasarkan Gambar 4.2, board package Heltec ESP32 Dev-Boards telah terpasang pada Arduino IDE dan digunakan untuk mendukung proses pemrograman perangkat HTIT Tracker. Setelah board package terpasang, dilakukan pemilihan jenis board yang sesuai dengan perangkat serta

COM port yang terdeteksi oleh Arduino IDE. Pengaturan tersebut diperlukan agar perangkat HTIT Tracker dapat dikenali dan diprogram melalui laptop.



Gambar 4.3 Pemilihan Board dan Com Port

Setelah konfigurasi board package selesai dilakukan, board yang sesuai dengan perangkat HTIT Tracker dipilih pada Arduino IDE. Berdasarkan Gambar 4.3, perangkat menggunakan board Heltec Wireless Tracker. Selanjutnya, COM port yang terdeteksi dipilih sebagai jalur komunikasi antara laptop dan perangkat. Setelah konfigurasi tersebut dilakukan, program yang telah disiapkan dibuka pada Arduino IDE untuk diproses dan diunggah ke HTIT Tracker melalui koneksi USB.

```
C:\Users\Asus>python -m esptool -p COM4 flash-id
esptool v5.3.1
Connected to ESP32-C3 on COM4:
Chip type:          ESP32-C3 (QFN32) (revision v0.4)
Features:           Wi-Fi, BT 5 (LE), Single Core, 160MHz
Crystal frequency: 40MHz
MAC:               48:ca:43:dd:b4:c8

Stub flasher running.

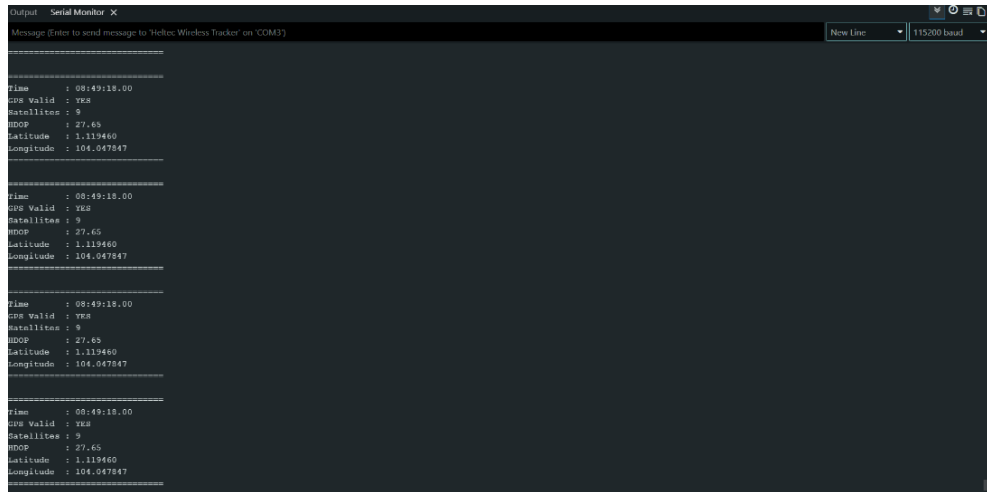
Flash Memory Information:
=====
Manufacturer: 5e
Device: 4016
Detected flash size: 4MB

Hard resetting via RTS pin...
```

Gambar 4.4 Proses Upload Program ke HTIT Tracker

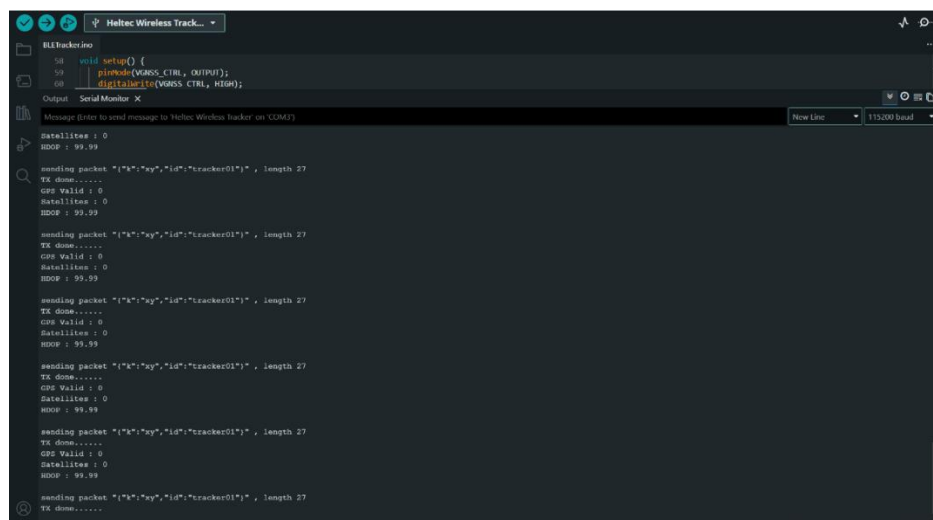
Setelah *board* dan *COM port* dikonfigurasi, program yang telah disiapkan diunggah ke HTIT Tracker melalui koneksi USB menggunakan Arduino IDE dan *esptool*. Proses *upload* dilakukan untuk menanamkan program ke memori perangkat

sehingga HTIT Tracker dapat menjalankan fungsi yang telah dirancang. Berdasarkan Gambar 4.4, perangkat berhasil terhubung melalui COM4 dan teridentifikasi sebagai ESP32-C3 dengan kapasitas *flash memory* sebesar 4 MB. Perangkat juga terdeteksi mendukung komunikasi Wi-Fi dan Bluetooth Low Energy (BT 5 LE). Setelah proses *upload* selesai, perangkat selanjutnya dapat digunakan untuk menjalankan program dan dilakukan pemeriksaan melalui Serial Monitor.



Gambar 4.5 Hasil Verifikasi Menggunakan Serial Monitor

Berdasarkan Gambar 4.5, hasil verifikasi melalui Serial Monitor menunjukkan bahwa HTIT Tracker berhasil menjalankan program dan memperoleh data GPS. Hal tersebut ditunjukkan oleh status GPS yang terdeteksi valid, jumlah satelit yang diterima, nilai HDOP, serta data koordinat berupa latitude dan longitude. Data tersebut ditampilkan secara berulang pada Serial Monitor sebagai indikasi bahwa perangkat dapat membaca dan memperbarui data GPS secara berkala.



Gambar 4.6 Hasil Verifikasi Pengiriman Data HTIT Tracker

Selanjutnya, dilakukan verifikasi terhadap proses pengiriman data dari HTIT Tracker. Berdasarkan Gambar 4.6, Serial Monitor menunjukkan adanya proses *sending packet* yang memuat identitas perangkat (*tracker01*) dan panjang paket data sebesar 27 byte. Informasi *TX done* juga ditampilkan setelah setiap proses pengiriman yang menunjukkan bahwa proses transmisi paket telah selesai dilakukan. Pengiriman paket berlangsung secara berulang sesuai dengan program yang dijalankan pada HTIT Tracker.

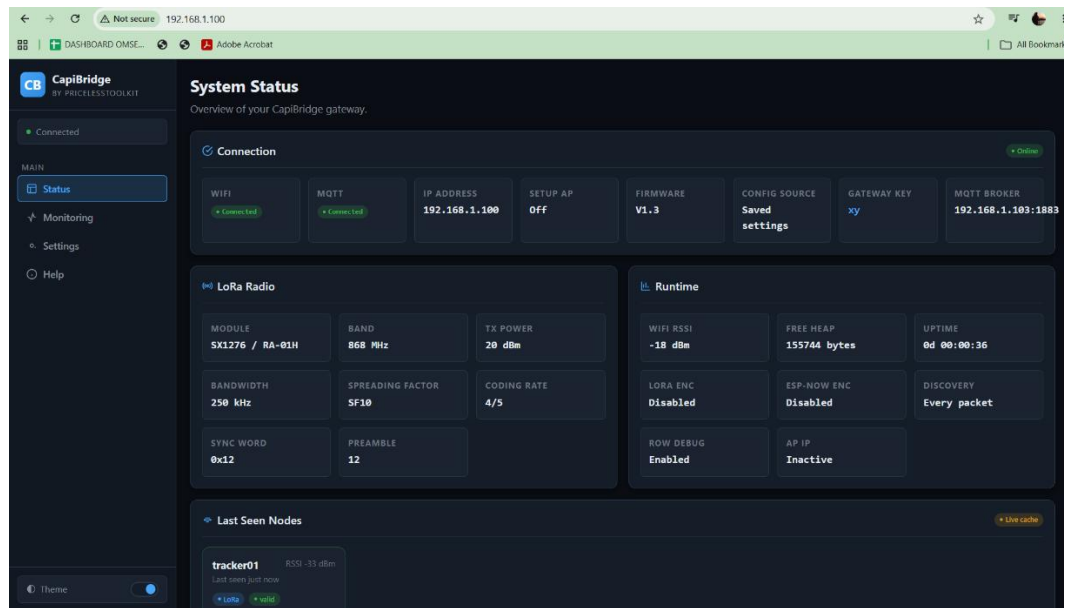
4.1.2 Implementasi LoRa Gateway

Tahap berikutnya adalah mengimplementasikan LoRa gateway sebagai perangkat penerima data yang dikirimkan oleh HTIT tracker. LoRa gateway berfungsi menerima paket data melalui komunikasi LoRa dan meneruskannya ke Raspberry Pi 4 melalui jaringan lokal (LAN). Gateway yang digunakan dalam penelitian ini juga memiliki konektivitas Wi-Fi yang digunakan untuk menghubungkan perangkat dengan jaringan lokal serta mendukung komunikasi dengan MQTT Broker.



Gambar 4.7 Lora Gateway

LoRa Gateway terlebih dahulu dihubungkan ke jaringan lokal sehingga dapat diakses melalui antarmuka web menggunakan alamat IP yang diperoleh dari jaringan. Antarmuka web digunakan untuk melakukan konfigurasi parameter komunikasi dan konektivitas gateway sesuai dengan kebutuhan sistem..



Gambar 4.8 Antarmuka Konfigurasi LoRa Gateway

Berdasarkan Gambar 4.8, LoRa *gateway* berada dalam kondisi *online* dan telah terhubung ke jaringan Wi-Fi serta MQTT Broker. Pada bagian *LoRa Radio* ditampilkan konfigurasi komunikasi yang digunakan, yaitu modul SX1276/RA-01H dengan frekuensi 868 MHz, daya pancar 20 dBm, *bandwidth* 250 kHz, *spreading factor* (SF) 10, dan *coding rate* 4/5. Konfigurasi tersebut digunakan sebagai parameter komunikasi LoRa antara HTIT Tracker dan Gateway.

Antarmuka *gateway* juga menunjukkan perangkat *tracker01* pada bagian *Last Seen Nodes*. Perangkat tersebut terdeteksi melalui komunikasi LoRa dengan nilai RSSI sebesar -33 dBm dan status *valid*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa paket data yang dikirim oleh HTIT Tracker telah berhasil diterima oleh LoRa *gateway*.

Selanjutnya, data yang diterima oleh *gateway* diteruskan melalui jaringan lokal menuju Raspberry Pi 4 yang berfungsi sebagai server *monitoring*. Raspberry Pi 4 menjalankan MQTT Broker sebagai perantara pertukaran data sebelum data diproses dan ditampilkan melalui *Home Assistant*.

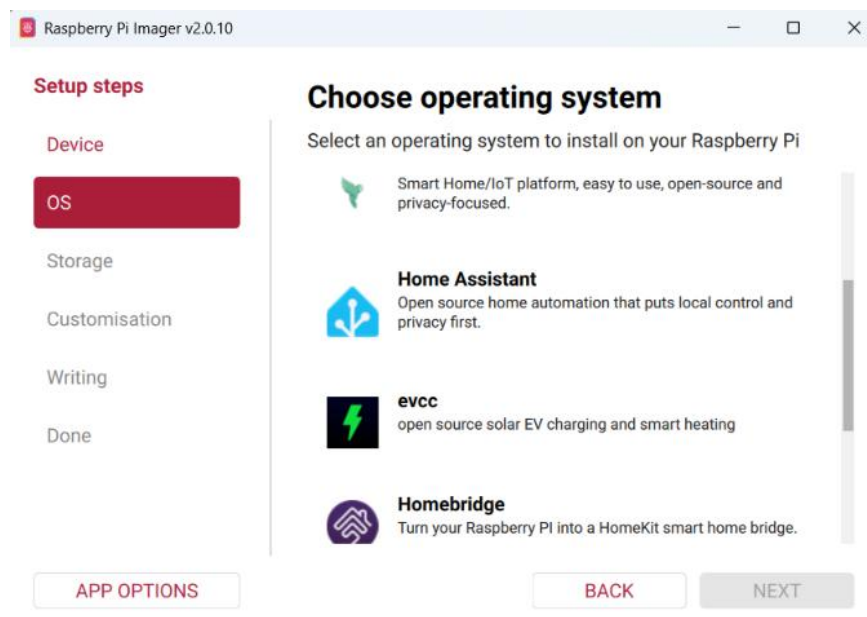
4.1.3 Implementasi Raspberry Pi 4

Tahap berikutnya adalah mengimplementasikan Raspberry Pi 4 sebagai server lokal pada sistem RTLS. Raspberry Pi 4 digunakan untuk menjalankan MQTT Broker dan *Home Assistant* sebagai bagian dari sistem komunikasi dan *monitoring*. MQTT Broker berfungsi sebagai perantara pertukaran data dari LoRa Gateway, sedangkan *Home Assistant* digunakan untuk mengelola dan menampilkan data *monitoring* melalui *dashboard*.



Gambar 4.9 Raspberry Pi 4

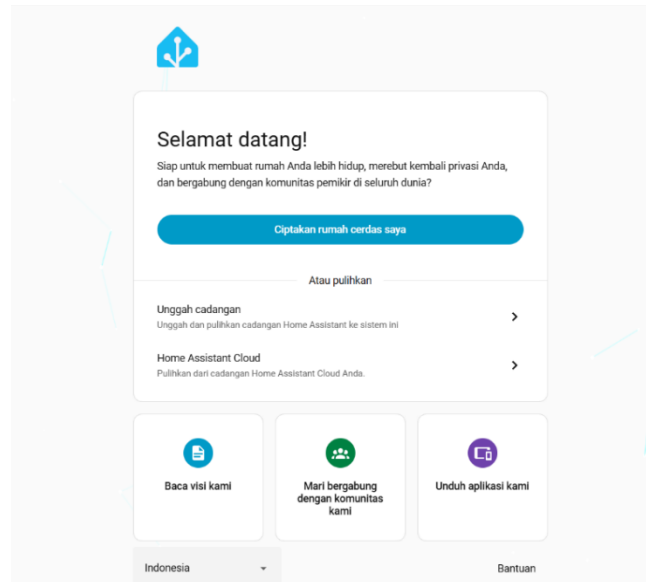
Sebelum digunakan sebagai server *monitoring*, Raspberry Pi 4 dipersiapkan dengan menginstal sistem operasi Home Assistant OS pada media penyimpanan microSD menggunakan aplikasi Raspberry Pi Imager. Setelah proses instalasi selesai, microSD dipasang pada Raspberry Pi 4. Selanjutnya, Raspberry Pi 4 dihubungkan ke jaringan lokal melalui Router TP-Link menggunakan kabel LAN agar dapat berkomunikasi dengan LoRa Gateway dan perangkat lain dalam sistem.



Gambar 4.10 Pemilihan *Home Assistant* pada Raspberry Pi Imager

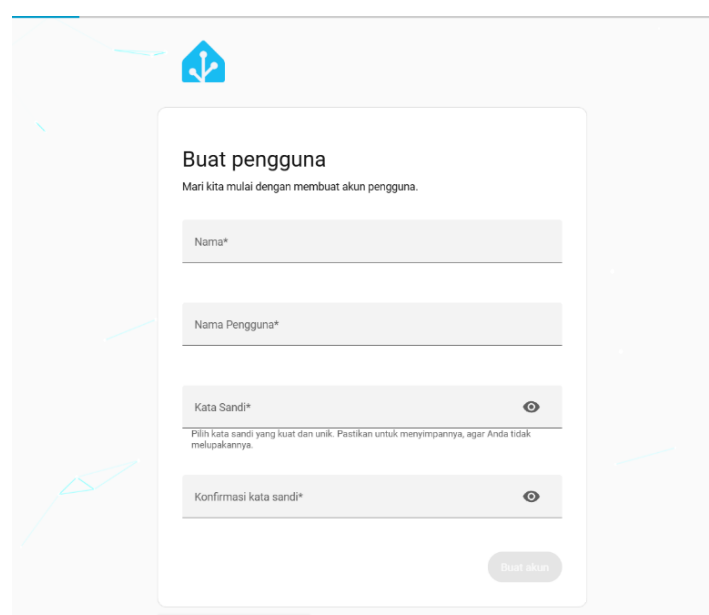
Sebelum Raspberry Pi 4 digunakan sebagai server *monitoring*, dilakukan instalasi sistem operasi menggunakan aplikasi Raspberry Pi Imager. Berdasarkan Gambar 4.10, pada tahap pemilihan sistem operasi tersedia pilihan *Home Assistant* sebagai *platform open source* yang digunakan untuk kebutuhan sistem *monitoring*. *Home Assistant* dipilih untuk dipasang pada Raspberry Pi 4 karena digunakan

sebagai *platform* untuk mengelola dan menampilkan data *monitoring* melalui *dashboard*. Setelah sistem operasi dipilih, proses dilanjutkan dengan pemilihan media penyimpanan dan penulisan sistem operasi ke microSD.



Gambar 4.11 Konfigurasi Awal Home Assistant

Setelah proses instalasi *Home Assistant* selesai, Raspberry Pi 4 diakses melalui jaringan lokal menggunakan *web browser*. Berdasarkan Gambar 4.11, halaman awal *Home Assistant* berhasil ditampilkan dan menyediakan tahapan konfigurasi awal sistem. Pada tahap ini dilakukan pengaturan awal untuk menyiapkan *Home Assistant* sebagai platform *monitoring* yang akan digunakan pada sistem RTLS.



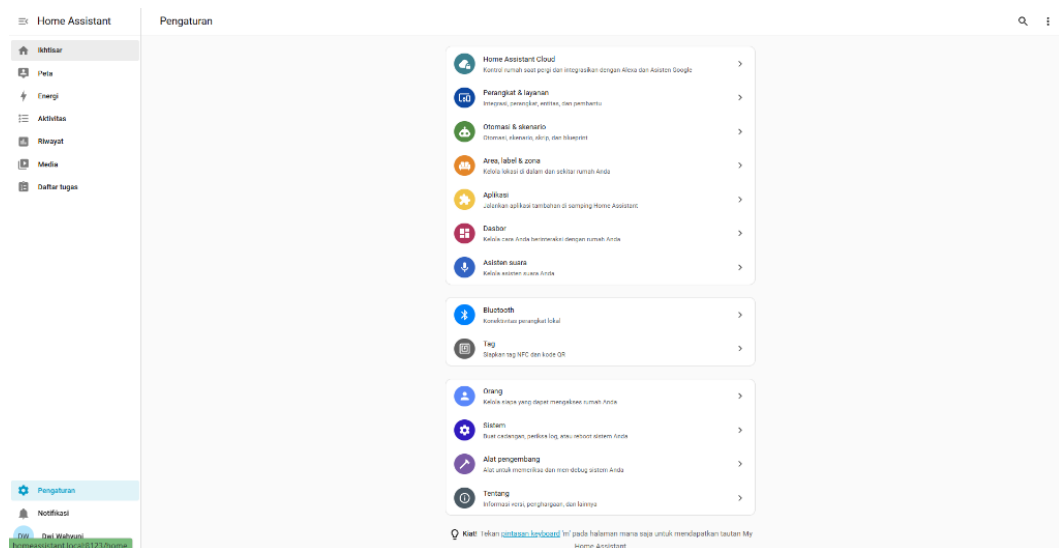
Gambar 4.12 Pembuatan Akun Home Assistant

Selanjutnya dilakukan pembuatan akun pengguna untuk mengakses Home Assistant. Berdasarkan Gambar 4.12, pengguna diminta mengisi nama, nama pengguna, kata sandi, dan konfirmasi kata sandi. Akun tersebut digunakan sebagai akun administrator untuk mengakses dan melakukan konfigurasi sistem Home Assistant.

Setelah konfigurasi awal dan pembuatan akun selesai, Home Assistant berhasil diakses melalui jaringan lokal dan siap digunakan sebagai platform *monitoring*. Selanjutnya dilakukan instalasi dan konfigurasi MQTT Broker pada Raspberry Pi 4 untuk memungkinkan pertukaran data antara LoRa Gateway dan Home Assistant.

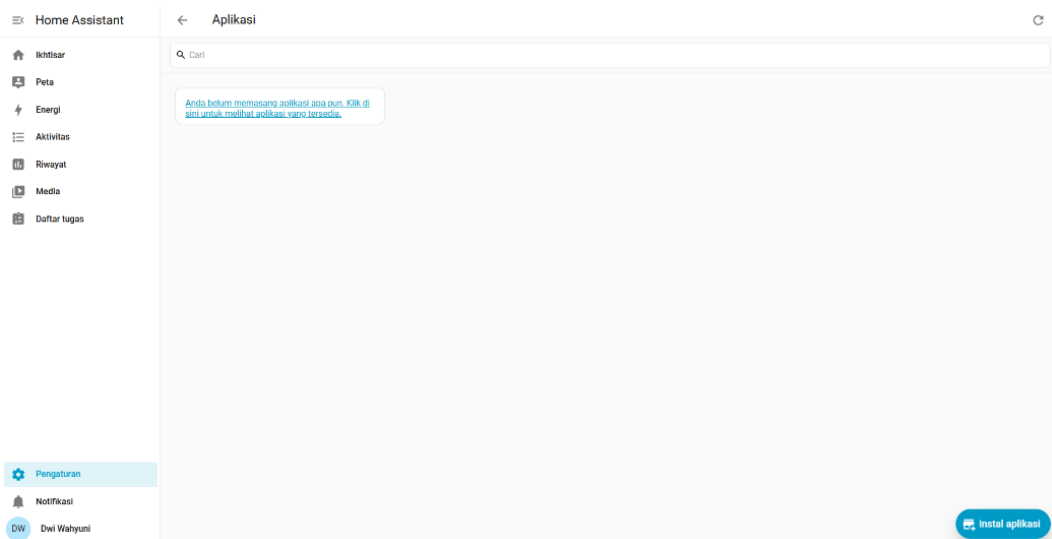
4.1.4 Integrasi LoRa Gateway dengan MQTT Broker

Setelah Raspberry Pi 4 dikonfigurasi sebagai server lokal, tahap selanjutnya adalah melakukan integrasi MQTT Broker sebagai media komunikasi antara LoRa Gateway dan Home Assistant. MQTT Broker digunakan untuk menerima pesan yang dikirimkan oleh LoRa Gateway melalui protokol MQTT dan menyediakan pesan tersebut kepada Home Assistant untuk diproses dan ditampilkan pada *dashboard monitoring*.



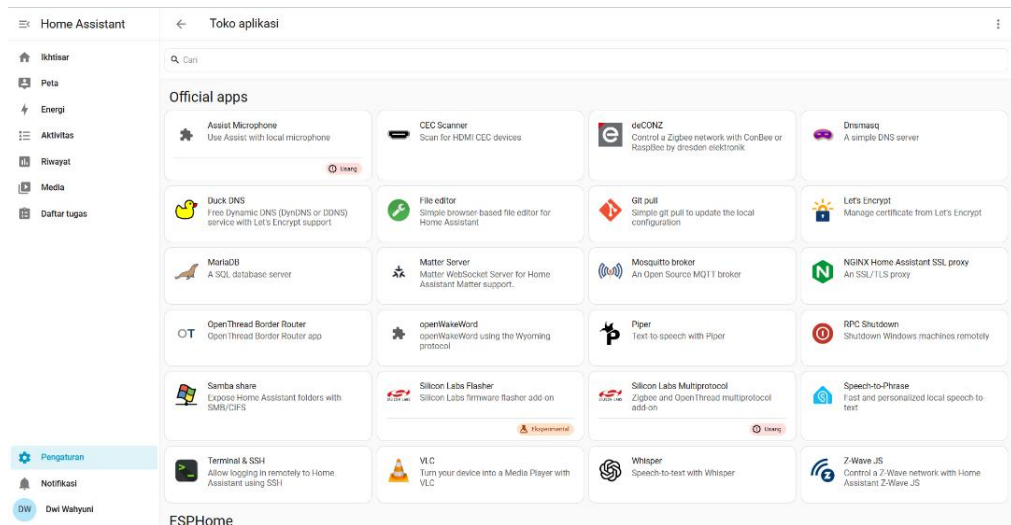
Gambar 4.13 Menu Pengaturan di Home Assistant

Konfigurasi MQTT Broker diawali dengan mengakses menu pengaturan pada Home Assistant. Menu tersebut digunakan untuk mengelola berbagai konfigurasi dan aplikasi yang mendukung operasional sistem. Pada tahap ini, dilakukan pengaksesan menu aplikasi untuk memasang MQTT Broker pada Raspberry Pi 4.



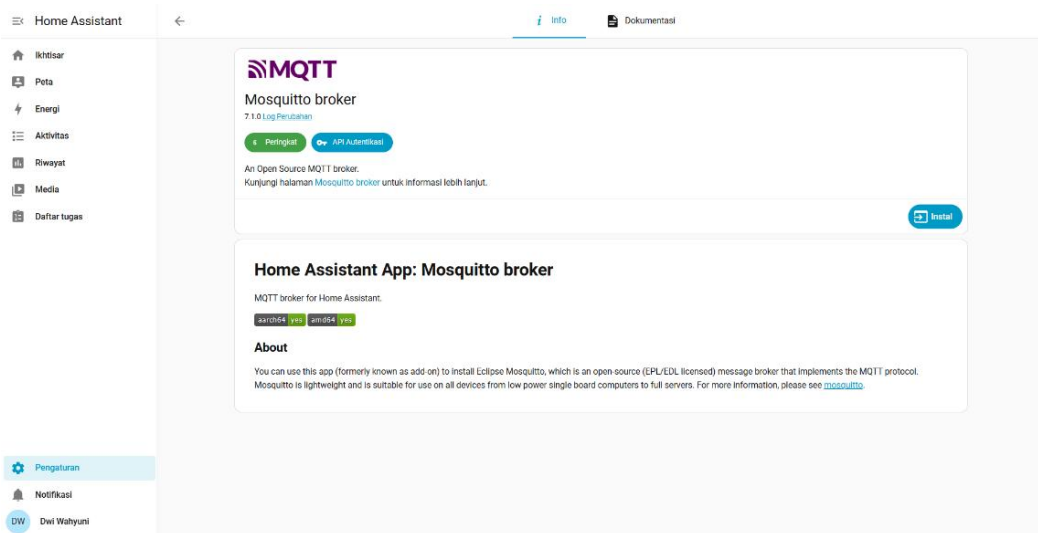
Gambar 4.14 Menu Aplikasi di *Home Assistant*

Berdasarkan Gambar 4.14, menu aplikasi pada *Home Assistant* digunakan untuk mengakses daftar aplikasi yang tersedia dan mendukung kebutuhan sistem. Selanjutnya dilakukan pencarian aplikasi yang berfungsi sebagai MQTT Broker.



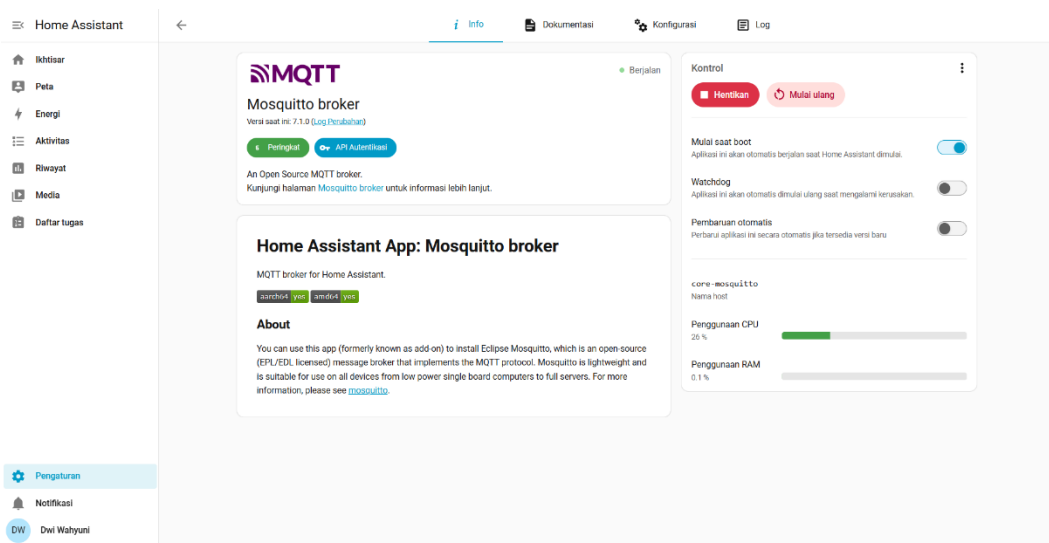
Gambar 4.15 Menu Install Aplikasi

Pada Gambar 4.15 ditampilkan daftar aplikasi yang tersedia pada *Home Assistant*. Mosquitto broker dipilih sebagai MQTT Broker karena menyediakan layanan komunikasi berbasis protokol MQTT yang diperlukan untuk pertukaran data antara LoRa gateway dan *Home Assistant*.



Gambar 4.16 Instalasi MQTT Broker

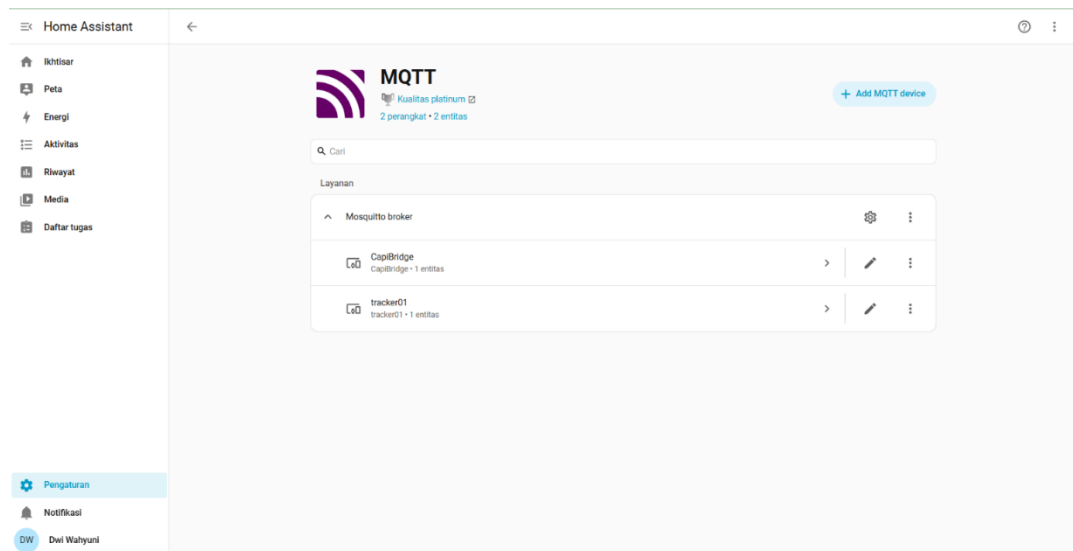
Proses instalasi Mosquitto broker dilakukan melalui antarmuka Home Assistant sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.16. Instalasi tersebut bertujuan menyediakan layanan MQTT Broker pada Raspberry Pi 4 sehingga perangkat dapat digunakan sebagai pusat pertukaran pesan dalam sistem *monitoring*.



Gambar 4.17 Proses Instalasi MQTT Broker Selesai

Berdasarkan gambar 4.17, proses instalasi Mosquito Broker telah selesai dan layanan berada dalam kondisi berjalan. Dengan demikian, Raspberry Pi 4 telah memiliki layanan MQTT Broker yang siap digunakan untuk menerima data dari LoRa *gateway*.

Selanjutnya, dilakukan konfigurasi pada LoRa *gateway* dengan menetapkan alamat IP Raspberry Pi 4 sebagai alamat MQTT Server dan menggunakan port **1883**. Selain itu, konfigurasi autentikasi dilakukan menggunakan kredensial yang telah ditetapkan pada MQTT Broker. Konfigurasi tersebut memungkinkan data yang diterima LoRa *gateway* melalui komunikasi LoRa dikirimkan ke MQTT Broker melalui jaringan lokal.



Gambar 4.18 Integrasi Perangkat pada MQTT Broker

Berdasarkan Gambar 4.18, layanan MQTT pada *Home Assistant* telah berhasil terintegrasi dengan perangkat yang digunakan dalam sistem. Pada bagian *Mosquitto broker* ditampilkan dua perangkat, yaitu CapiBridge dan tracker01, yang masing-masing telah terdaftar sebagai entitas pada layanan MQTT. Keberadaan kedua perangkat tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi integrasi MQTT telah berhasil dilakukan sehingga perangkat dapat dikenali oleh *Home Assistant* melalui layanan Mosquitto broker.

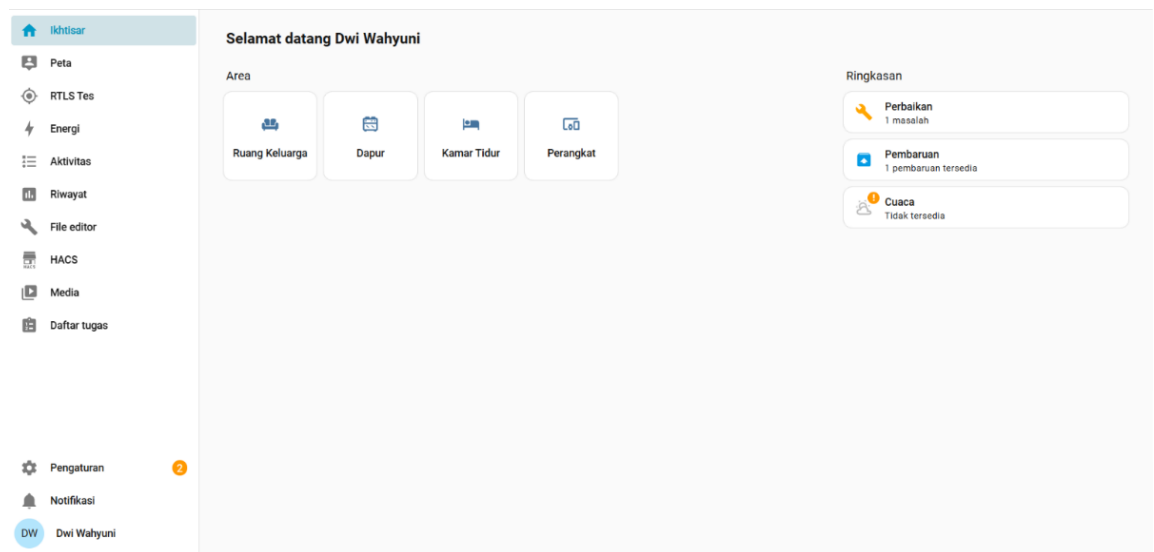
Integrasi tersebut menjadi bagian penting dalam alur komunikasi sistem, yaitu data yang dikirim oleh HTIT Tracker melalui LoRa diterima oleh LoRa *gateway*, kemudian diteruskan melalui jaringan lokal menuju MQTT Broker. Selanjutnya, data MQTT dapat digunakan oleh *Home Assistant* untuk proses *monitoring* dan penyajian informasi pada *dashboard*.

4.1.5 Implementasi *Dashboard Monitoring*

Tahap selanjutnya adalah implementasi *dashboard monitoring* sebagai antarmuka sistem yang digunakan untuk menyajikan informasi hasil *monitoring* aset. *Dashboard* dikembangkan menggunakan *platform Home Assistant* yang

berjalan pada Raspberry Pi 4. Antarmuka tersebut digunakan sebagai media untuk mengakses informasi sistem secara terpusat sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan terhadap perangkat yang terhubung dengan sistem RTLS.

Data yang dikirimkan oleh HTIT Tracker diterima oleh LoRa *gateway* dan diteruskan melalui jaringan lokal menuju MQTT Broker yang berjalan pada Raspberry Pi 4. Selanjutnya, *Home Assistant* digunakan untuk mengelola dan menampilkan data yang diterima melalui antarmuka *dashboard*. Integrasi tersebut memungkinkan informasi hasil *monitoring* disajikan kepada pengguna melalui jaringan lokal.



Gambar 4.19 Tampilan Awal *Home Assistant*

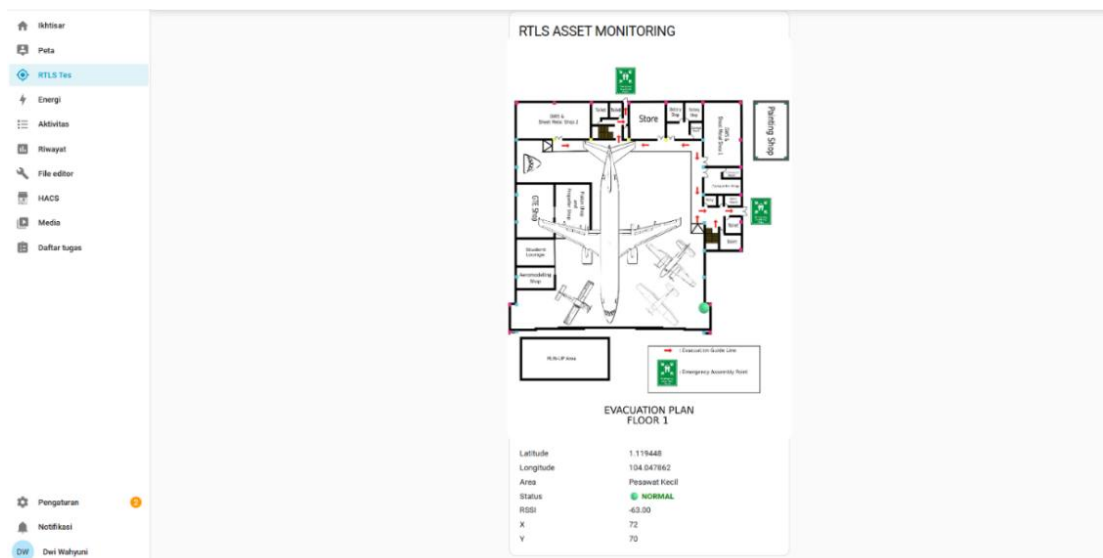
Berdasarkan Gambar 4.19, *Dashboard* RTLS berhasil diimplementasikan sebagai media *monitoring* yang menyajikan informasi hasil komunikasi antar komponen sistem. Dashboard dirancang untuk menyajikan informasi *monitoring* secara terpusat sehingga pengguna dapat memantau kondisi dan posisi perangkat dengan lebih mudah dan efisien.

Salah satu komponen utama pada *Dashboard* RTLS adalah *floor plan* Hanggar Pendidikan yang digunakan sebagai representasi visual area *monitoring*. *Floor plan* tersebut digunakan untuk merepresentasikan posisi HTIT Tracker pada area hanggar berdasarkan data yang diterima oleh sistem. Penyajian informasi dalam bentuk denah memberikan representasi visual terhadap posisi perangkat sehingga memudahkan pengguna dalam mengidentifikasi lokasi aset dibandingkan dengan penyajian informasi yang hanya berupa teks atau angka.



Gambar 4.20 Tampilan *Floor Plan* pada Dashboard RTLS

Berdasarkan Gambar 4.20, *Dashboard* RTLS telah berhasil menampilkan *floor plan* Hanggar Pendidikan sebagai representasi visual *area monitoring*. *Floor plan* digunakan untuk menggambarkan pembagian area dan zona yang menjadi dasar dalam proses pemantauan lokasi aset. Tampilan tersebut memberikan representasi visual terhadap *area monitoring* sehingga pengguna dapat memahami kondisi lingkungan hanggar dan mengidentifikasi area pemantauan secara lebih mudah.



Gambar 4.21 Informasi *Monitoring* Dashboard RTLS

Berdasarkan Gambar 4.21, *Dashboard* RTLS menampilkan informasi hasil *monitoring* perangkat yang terdeteksi oleh sistem. Informasi yang ditampilkan meliputi latitude, longitude, area, status perangkat, nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), serta koordinat posisi perangkat pada sumbu X dan Y. Pada kondisi yang ditampilkan, perangkat berada pada area Pesawat Kecil dengan status Normal.

Nilai RSSI yang ditampilkan pada *dashboard* merupakan indikator kekuatan sinyal yang diterima oleh LoRa *gateway* dari HTIT Tracker. Pada kondisi pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 4.21, nilai RSSI yang diterima adalah **-63 dBm**. Nilai tersebut digunakan sebagai salah satu parameter dalam proses analisis kualitas komunikasi LoRa pada penelitian ini. Informasi koordinat X dan Y digunakan sebagai representasi posisi perangkat pada area *monitoring*, sedangkan informasi latitude dan longitude digunakan untuk menunjukkan data posisi geografis yang diperoleh dari perangkat.



Gambar 4.22 Notifikasi Peringatan pada Dashboard RTLS

Berdasarkan Gambar 4.22, *dashboard* RTLS berhasil menampilkan notifikasi peringatan ketika HTIT Tracker terdeteksi berada di luar area *monitoring* yang telah ditentukan. Notifikasi tersebut memberikan informasi mengenai identitas perangkat, area terdeteksi, dan status perangkat. Pada kondisi tersebut, *Tracker 01* terdeteksi berada pada area RUN-UP Area dengan status OUT_OF_ZONE. Kondisi ini menunjukkan bahwa mekanisme deteksi batas zona pada sistem telah berfungsi dan mampu memberikan informasi peringatan kepada pengguna ketika perangkat berada di luar area yang ditentukan.

Dengan adanya mekanisme peringatan tersebut, sistem tidak hanya menyajikan informasi posisi dan kondisi perangkat tetapi juga memberikan informasi terhadap perubahan status zona yang memerlukan perhatian pengguna. Hal ini mendukung proses pemantauan aset secara *real-time* dan membantu pengguna dalam mengetahui potensi perpindahan aset keluar dari area *monitoring*.

Secara keseluruhan, hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem *monitoring* RTLS telah berhasil diintegrasikan sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan. Data yang dikirimkan oleh HTIT Tracker dapat diterima oleh LoRa Gateway, kemudian diteruskan melalui jaringan lokal menuju MQTT Broker yang berjalan pada Raspberry Pi 4. Selanjutnya, data diproses oleh *Home Assistant* dan disajikan melalui *Dashboard* RTLS. Hasil implementasi tersebut menunjukkan bahwa sistem telah mampu menyediakan informasi *monitoring* perangkat termasuk informasi posisi, status, nilai RSSI, serta peringatan ketika perangkat terdeteksi berada di luar zona yang telah ditentukan.

4.2 Pengujian Sistem

4.2.1. Skenario Pengujian

Pengujian sistem dilakukan di Hanggar Pendidikan Politeknik Negeri Batam sebagai lokasi implementasi sistem *monitoring* aset berbasis RTLS. Pengujian bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam menerima, meneruskan, dan menampilkan data dari HTIT Tracker melalui LoRa Gateway, Raspberry Pi 4, MQTT Broker, dan *Dashboard* RTLS. Pengujian juga dilakukan untuk mengamati nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), perubahan informasi posisi perangkat, status perangkat, serta respons sistem ketika perangkat berada di luar area pemantauan.

Pengujian komunikasi LoRa menggunakan satu unit LoRa Gateway yang ditempatkan pada posisi tetap selama proses pengambilan data. HTIT Tracker digunakan sebagai perangkat pengirim dan dipindahkan secara bertahap ke beberapa titik pengujian dengan variasi jarak 1 meter, 5 meter, 10 meter, 20 meter, dan 30 meter terhadap LoRa Gateway. Pada setiap variasi jarak dilakukan 10 kali percobaan untuk memperoleh data pengukuran yang dapat digunakan dalam analisis. Nilai RSSI yang diterima oleh LoRa Gateway dicatat pada setiap percobaan sebagai parameter untuk mengetahui karakteristik kekuatan sinyal terhadap perubahan jarak. Data yang diterima oleh LoRa Gateway selanjutnya diteruskan melalui jaringan lokal menuju Raspberry Pi 4 menggunakan MQTT Broker dan ditampilkan pada *Dashboard* RTLS.

Pengujian dilakukan pada area *indoor* Hanggar Pendidikan dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan dan jarak antara HTIT Tracker dengan LoRa Gateway. Selama proses pengambilan data, posisi perangkat dan informasi

monitoring diamati melalui *Dashboard* RTLS. Hasil pengukuran RSSI selanjutnya digunakan untuk menganalisis hubungan antara jarak dan kekuatan sinyal komunikasi LoRa pada lingkungan hanggar.

Selain pengujian komunikasi LoRa sebagai komunikasi utama sistem, dilakukan pula pengujian Wi-Fi dan Bluetooth sebagai teknologi pembanding. Pengujian pembanding dilakukan dengan mengamati nilai RSSI pada variasi jarak 1 meter, 5 meter, 10 meter, 20 meter, dan 30 meter, dengan 10 kali percobaan pada setiap variasi jarak. Pengujian dilakukan pada kondisi lingkungan yang sama dengan pengujian LoRa. Hasil pengukuran tersebut digunakan untuk memberikan gambaran perbandingan karakteristik kekuatan sinyal antara LoRa, Wi-Fi, dan Bluetooth pada lingkungan Hanggar Pendidikan. Pengujian Wi-Fi dan Bluetooth tidak digunakan sebagai bagian dari jalur komunikasi utama sistem RTLS, tetapi sebagai data pendukung dalam pembahasan performa teknologi komunikasi nirkabel.

Selain pengukuran RSSI, dilakukan pengujian terhadap mekanisme deteksi zona pada *Dashboard* RTLS. Ketika HTIT Tracker berada di dalam area pemantauan yang telah ditentukan, sistem menampilkan status Normal. Sebaliknya, ketika perangkat terdeteksi berada di luar batas area pemantauan, sistem mengubah status menjadi Out of Zone dan menampilkan notifikasi peringatan pada *Dashboard* RTLS. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam memberikan informasi peringatan terhadap perubahan status zona perangkat.

Pengujian sistem dibatasi pada lingkungan *indoor* Hanggar Pendidikan Politeknik Negeri Batam dan menggunakan satu unit LoRa Gateway serta satu HTIT Tracker sebagai perangkat yang diuji. Variasi jarak pengujian dibatasi pada 1 meter, 5 meter, 10 meter, 20 meter, dan 30 meter, dengan 10 kali percobaan pada setiap variasi jarak. Pengujian komunikasi difokuskan pada pengamatan nilai RSSI dan keberhasilan penerimaan data, sedangkan pengujian Wi-Fi dan Bluetooth hanya digunakan sebagai pembanding karakteristik kekuatan sinyal dan bukan sebagai jalur komunikasi utama sistem. Pengujian juga difokuskan pada fungsi *monitoring*, perubahan status zona, notifikasi *Out of Zone*, serta integrasi data hingga *Dashboard* RTLS. Dengan batasan tersebut, hasil pengujian merepresentasikan kondisi sistem pada lingkungan dan skenario yang digunakan dalam penelitian ini dan tidak dimaksudkan untuk menggeneralisasi kinerja sistem pada lingkungan yang berbeda.

Skenario pengujian tersebut digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi kinerja sistem yang telah diimplementasikan. Hasil pengujian selanjutnya dianalisis berdasarkan nilai RSSI pada variasi jarak, keberhasilan komunikasi data, respons perubahan status zona, serta perbandingan karakteristik RSSI LoRa dengan Wi-Fi dan Bluetooth. Hasil pengujian dan analisis tersebut disajikan pada subbab berikutnya.

4.2.2 Hasil Pengujian Sistem

Setelah skenario pengujian ditetapkan, dilakukan pengujian terhadap sistem *monitoring* yang telah diimplementasikan. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menerima, meneruskan, dan menampilkan data yang dikirimkan oleh HTIT Tracker melalui LoRa *gateway*, MQTT Broker, dan *dashboard* RTLS. Selain itu, pengujian dilakukan untuk memperoleh karakteristik komunikasi berdasarkan nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) pada beberapa variasi jarak antara perangkat pengirim dan perangkat penerima.

Data hasil pengujian diperoleh dengan menempatkan perangkat pada beberapa titik pengujian sesuai dengan skenario yang telah ditentukan. Pada pengujian LoRa, HTIT Tracker ditempatkan pada titik dengan jarak tertentu terhadap LoRa *gateway*, kemudian nilai RSSI yang diterima oleh *gateway* dicatat. Data selanjutnya diteruskan melalui jaringan lokal menuju Raspberry Pi 4 dan ditampilkan pada *dashboard* RTLS. Pengujian Wi-Fi dan Bluetooth dilakukan sebagai pengujian pembandingan dengan mengamati nilai RSSI pada variasi jarak yang telah ditentukan.

Selain pengukuran nilai RSSI, pengujian sistem juga mencakup pengamatan terhadap perubahan informasi *monitoring*, status perangkat, posisi perangkat pada *floor plan*, serta respons sistem terhadap kondisi *Out of Zone*. Hasil pengujian selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan analisis hubungan antara jarak dan nilai RSSI serta perbandingan karakteristik komunikasi LoRa, Wi-Fi, dan Bluetooth.

Hasil pengujian tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi kinerja komunikasi sistem dan mengetahui kemampuan sistem *monitoring* dalam mempertahankan penerimaan data pada kondisi lingkungan Hanggar Pendidikan Politeknik Negeri Batam.

4.2.2.1 Pengujian RSSI LoRa Berdasarkan Variasi Jarak

Pengujian RSSI LoRa dilakukan untuk mengetahui karakteristik kekuatan sinyal yang diterima oleh LoRa Gateway pada beberapa variasi jarak antara HTIT Tracker dan LoRa Gateway. Pengujian dilakukan pada jarak 1 meter, 5 meter, 10 meter, 20 meter, dan 30 meter. Pada setiap variasi jarak dilakukan sebanyak 10 kali pengukuran untuk memperoleh data yang dapat digunakan dalam analisis perubahan nilai RSSI terhadap jarak.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran RSSI

Percobaan	Jarak				
	1 meter	5 meter	10 meter	20 meter	30 meter
1	-42	-48	-55	-66	-74
2	-41	-50	-57	-69	-78
3	-43	-47	-54	-65	-73
4	-40	-51	-58	-70	-80
5	-42	-49	-56	-68	-76
6	-44	-48	-55	-67	-75
7	-41	-52	-59	-71	-81
8	-43	-49	-56	-66	-74
9	-42	-50	-57	-69	-79
10	-41	-48	-55	-68	-77

Berdasarkan Tabel 4.1, nilai RSSI yang diperoleh pada setiap variasi jarak mengalami perubahan antarpercobaan. Meskipun terdapat fluktuasi nilai RSSI pada pengukuran berulang, secara umum terdapat kecenderungan penurunan nilai RSSI seiring dengan bertambahnya jarak antara HTIT Tracker dan LoRa Gateway.

Untuk memperoleh nilai yang representatif pada setiap variasi jarak, digunakan nilai RSSI rata-rata dari 10 kali pengukuran. Nilai RSSI rata-rata dihitung menggunakan persamaan rata-rata aritmetika sebagai berikut.

$$RSSI = \frac{\sum_{i=1}^n RSSI_i}{n}$$

Keterangan:

$\bar{RSSI}$ = nilai RSSI rata-rata (dBm)

$RSSI_i$ = nilai RSSI pada pengukuran ke- i

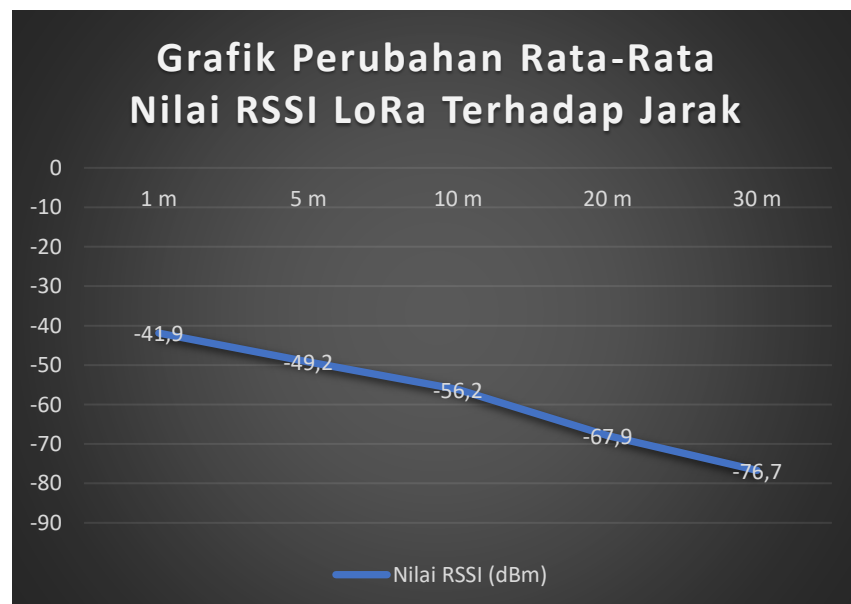
n = jumlah pengukuran (10 kali)

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan rumus diatas, diperoleh nilai RSSI minimum, RSSI maksimum, dan RSSI rata-rata pada setiap variasi jarak sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Hasil Pengujian RSSI

No	Jarak (m)	RSSI Minimum	RSSI Maksimum	RSSI Rata-Rata
1	1	-44	-40	-41,9
2	5	-52	-47	-49,2
3	10	-59	-54	-56,2
4	20	-71	-65	-67,9
5	30	-80	-73	-76,7

Untuk mempermudah pengamatan terhadap perubahan nilai RSSI pada setiap variasi jarak, nilai RSSI rata-rata disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Grafik Perubahan Rata-Rata Nilai RSSI LoRa Terhadap Jarak

Berdasarkan Gambar 4.23, nilai RSSI rata-rata menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan bertambahnya jarak antara HTIT

Tracker dan LoRa *gateway*. Pada jarak 1 meter, diperoleh nilai RSSI rata-rata sebesar -41,9 dBm, sedangkan pada jarak 30 meter nilai RSSI rata-rata menurun menjadi -76,7 dBm. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan jarak antara perangkat pengirim dan penerima menyebabkan berkurangnya kekuatan sinyal yang diterima oleh LoRa *gateway*.

Penurunan nilai RSSI terlihat secara bertahap, yaitu dari -41,9 dBm pada jarak 1 meter menjadi -49,2 dBm pada jarak 5 meter, -56,2 dBm pada jarak 10 meter, -67,9 dBm pada jarak 20 meter, dan -76,7 dBm pada jarak 30 meter. Hasil tersebut menunjukkan adanya hubungan antara pertambahan jarak dan penurunan kekuatan sinyal yang diterima oleh LoRa Gateway.

Meskipun nilai RSSI mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jarak, berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh, sistem masih dapat menerima data dari HTIT Tracker pada seluruh variasi jarak yang diuji. Data tersebut selanjutnya dapat diteruskan melalui sistem komunikasi yang telah diimplementasikan dan ditampilkan pada Dashboard RTLS. Dengan demikian, pada rentang jarak pengujian 1–30 meter, komunikasi antara HTIT Tracker dan LoRa Gateway masih dapat berlangsung.

Perubahan nilai RSSI tidak hanya dipengaruhi oleh jarak, tetapi juga dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan pengujian. Hanggar Pendidikan memiliki struktur logam, rangka bangunan, badan pesawat, dan berbagai peralatan yang berpotensi menyebabkan pantulan serta redaman sinyal. Kondisi lingkungan tersebut dapat menyebabkan fluktuasi nilai RSSI pada pengukuran yang dilakukan berulang pada jarak yang sama. Meskipun demikian, hasil pengujian menunjukkan pola penurunan RSSI yang relatif konsisten terhadap pertambahan jarak.

Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa nilai RSSI LoRa cenderung menurun seiring dengan bertambahnya jarak antara HTIT Tracker dan LoRa Gateway. Nilai rata-rata RSSI berubah dari -41,9 dBm pada jarak 1 meter menjadi -76,7 dBm pada jarak 30 meter. Hasil tersebut menunjukkan bahwa jarak merupakan salah satu faktor yang memengaruhi kekuatan sinyal yang diterima oleh LoRa Gateway pada lingkungan pengujian.

4.2.2.2 Pengujian RSSI Wi-Fi Berdasarkan Variasi Jarak

Pengujian Wi-Fi dilakukan sebagai pengujian pembandingan terhadap komunikasi LoRa yang digunakan sebagai komunikasi utama pada sistem *Real-Time Location System* (RTLS). Pengujian bertujuan untuk mengetahui karakteristik kekuatan sinyal Wi-Fi berdasarkan perubahan jarak melalui parameter *Received Signal Strength Indicator* (RSSI). Pengujian dilakukan pada lima variasi jarak, yaitu 1 meter, 5 meter, 10 meter, 20 meter, dan 30 meter.

Pada setiap variasi jarak dilakukan sebanyak 10 kali percobaan. Nilai RSSI yang berhasil diterima dicatat pada setiap percobaan. Apabila perangkat tidak berhasil terhubung, kondisi tersebut dicatat sebagai Gagal Terhubung. Hasil pengukuran RSSI Wi-Fi pada setiap variasi jarak ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran RSSI Wi-Fi

Percobaan	Jarak				
	1 meter	5 meter	10 meter	20 meter	30 meter
1	-38	-55	-68	-82	-90
2	-40	-58	-73	-88	-97
3	-37	-54	-66	-79	-86
4	-41	-60	-76	-91	Gagal Terhubung
5	-39	-57	-71	-85	-93
6	-38	-56	-69	-83	-89
7	-42	-61	-78	-95	Gagal Terhubung
8	-39	-55	-67	-80	-87
9	-40	-59	-74	-89	-96
10	-38	-57	-72	-86	-94

Berdasarkan Tabel 4.3, nilai RSSI Wi-Fi menunjukkan perubahan pada setiap variasi jarak pengujian. Pada jarak 1 meter hingga 20 meter, seluruh percobaan berhasil menghasilkan nilai RSSI. Sementara itu, pada jarak 30 meter terdapat dua percobaan yang mengalami kondisi Gagal Terhubung,

yaitu pada percobaan ke-4 dan ke-7. Dengan demikian, terdapat 10 data RSSI yang berhasil diperoleh pada jarak 1 meter, 5 meter, 10 meter, dan 20 meter, sedangkan pada jarak 30 meter diperoleh 8 data RSSI.

Untuk memperoleh nilai RSSI yang representatif pada setiap variasi jarak, nilai rata-rata dihitung berdasarkan data RSSI yang berhasil diperoleh. Perhitungan nilai RSSI rata-rata menggunakan persamaan rata-rata aritmetika sebagai berikut:

$$RSSI = \frac{\sum_{i=1}^n RSSI_i}{n}$$

Keterangan:

$RSSI$ = nilai RSSI rata-rata (dBm)

$RSSI_i$ = nilai RSSI pada pengukuran ke- i

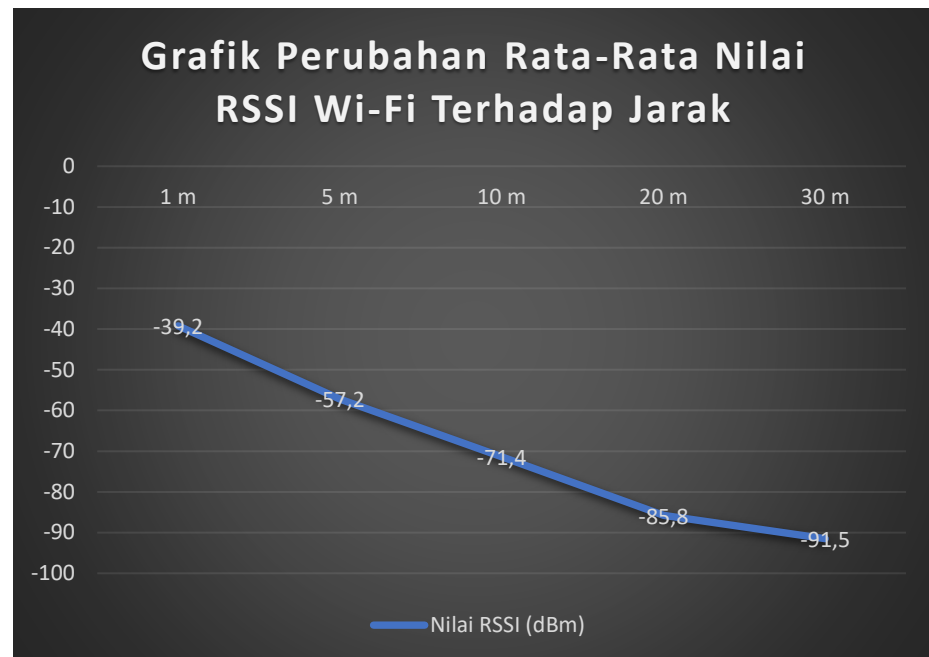
n = jumlah pengukuran (10 kali)

Tabel 4.4 Hasil Pengujian RSSI Wi-Fi

No	Jarak (m)	RSSI Minimum	RSSI Maksimum	RSSI Rata-Rata
1	1	-42	-37	-39,2
2	5	-61	-54	-57,2
3	10	-78	-66	-71,4
4	20	-95	-80	-85,8
5	30	-97	-86	-91,5

Berdasarkan Tabel 4.4, nilai RSSI rata-rata menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan bertambahnya jarak antara perangkat pengirim dan penerima. Pada jarak 1 meter diperoleh nilai RSSI rata-rata sebesar -39,2 dBm, kemudian menurun menjadi -57,2 dBm pada jarak 5 meter, -71,4 dBm pada jarak 10 meter, -85,8 dBm pada jarak 20 meter, dan -91,5 dBm pada jarak 30 meter. Hasil tersebut menunjukkan adanya kecenderungan penurunan kekuatan sinyal Wi-Fi seiring dengan bertambahnya jarak pengujian.

Untuk mempermudah pengamatan terhadap perubahan nilai RSSI pada setiap variasi jarak, nilai RSSI rata-rata selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik.



Gambar 4.24 Grafik Perubahan Rata-Rata Nilai RSSI Wi-Fi Terhadap Jarak

Berdasarkan Gambar 4.24, nilai RSSI rata-rata mengalami penurunan dari $-39,2$ dBm pada jarak 1 meter menjadi $-91,5$ dBm pada jarak 30 meter. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa semakin jauh jarak antara perangkat pengirim dan penerima, semakin rendah kekuatan sinyal Wi-Fi yang diterima. Perubahan nilai RSSI terlihat secara bertahap pada seluruh variasi jarak yang diuji.

Selain penurunan nilai RSSI, hasil pengujian menunjukkan bahwa keberhasilan komunikasi masih dapat dipertahankan pada jarak 1 meter hingga 20 meter. Seluruh 10 percobaan pada masing-masing jarak tersebut berhasil menghasilkan nilai RSSI. Pada jarak 30 meter, komunikasi masih berhasil pada 8 dari 10 percobaan, sedangkan 2 percobaan mengalami kondisi Gagal Terhubung. Dengan demikian, pada kondisi pengujian yang dilakukan, mulai terdapat penurunan keberhasilan komunikasi pada jarak 30 meter.

Perubahan nilai RSSI dan keberhasilan komunikasi dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan pengujian. Pengujian dilakukan di Hanggar Pendidikan Politeknik Negeri Batam yang memiliki struktur logam, rangka

bangunan, badan pesawat, serta berbagai peralatan yang dapat memengaruhi propagasi sinyal. Kondisi tersebut dapat menyebabkan pantulan dan pelemahan sinyal sehingga nilai RSSI dapat mengalami variasi pada setiap percobaan. Namun, berdasarkan data yang diperoleh, pola penurunan nilai RSSI terhadap pertambahan jarak tetap terlihat secara konsisten.

Berdasarkan hasil pengujian, dapat diketahui bahwa nilai RSSI Wi-Fi mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jarak antara perangkat pengirim dan penerima. Nilai RSSI rata-rata berubah dari $-39,2$ dBm pada jarak 1 meter menjadi $-91,5$ dBm pada jarak 30 meter. Komunikasi berhasil pada seluruh percobaan hingga jarak 20 meter, sedangkan pada jarak 30 meter terdapat dua dari sepuluh percobaan yang mengalami kondisi Gagal Terhubung. Hasil pengujian Wi-Fi tersebut selanjutnya digunakan sebagai data pembandingan terhadap hasil pengujian LoRa dan Bluetooth pada lingkungan Hanggar Pendidikan.

4.2.2.3 Pengujian RSSI Bluetooth Berdasarkan Variasi Jarak

Pengujian Bluetooth dilakukan sebagai pengujian pembandingan terhadap komunikasi LoRa yang digunakan sebagai komunikasi utama pada sistem *Real-Time Location System* (RTLS). Pengujian bertujuan untuk mengetahui karakteristik kekuatan sinyal Bluetooth berdasarkan perubahan jarak melalui parameter *Received Signal Strength Indicator* (RSSI). Pengujian dilakukan pada lima variasi jarak, yaitu 1 meter, 5 meter, 10 meter, 20 meter, dan 30 meter.

Pada setiap variasi jarak dilakukan sebanyak 10 kali percobaan. Nilai RSSI yang berhasil diterima dicatat pada setiap percobaan. Apabila perangkat tidak berhasil terhubung, kondisi tersebut dicatat sebagai Gagal Terhubung. Pencatatan dilakukan untuk mengetahui perubahan kekuatan sinyal Bluetooth sekaligus mengamati keberhasilan komunikasi pada setiap variasi jarak.

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran RSSI Bluetooth

Percobaan	Jarak				
	1 meter	5 meter	10 meter	20 meter	30 meter
1	-50	-66	-78	-89	Gagal Terhubung
2	-52	-70	-84	-95	-99
3	-49	-64	-75	Gagal Terhubung	Gagal Terhubung
4	-53	-72	-88	-98	Gagal Terhubung
5	-51	-68	-81	-92	-97
6	-50	-67	-79	-90	Gagal Terhubung
7	-54	-74	-91	Gagal Terhubung	Gagal Terhubung
8	-51	-65	-76	-87	-95
9	-52	-71	-85	-96	Gagal Terhubung
10	-50	-69	-82	-93	-98

Berdasarkan Tabel 4.5, nilai RSSI Bluetooth menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan bertambahnya jarak antara perangkat pengirim dan penerima. Pada jarak 1 meter, 5 meter, dan 10 meter, seluruh percobaan berhasil menghasilkan nilai RSSI. Pada jarak 20 meter terdapat dua percobaan yang mengalami kondisi Gagal Terhubung, sedangkan pada jarak 30 meter terdapat enam percobaan yang mengalami kondisi Gagal Terhubung. Dengan demikian, jumlah data RSSI yang berhasil diperoleh pada jarak 1 meter, 5 meter, dan 10 meter masing-masing sebanyak 10 data, pada jarak 20 meter sebanyak 8 data, dan pada jarak 30 meter sebanyak 4 data.

Untuk memperoleh nilai RSSI yang representatif pada setiap variasi jarak, nilai rata-rata dihitung berdasarkan data RSSI yang berhasil diperoleh.

Perhitungan nilai RSSI rata-rata menggunakan persamaan rata-rata aritmetika sebagai berikut:

$$R\bar{SSI} = \frac{\sum_{i=1}^n RSSI_i}{n}$$

Keterangan:

$R\bar{SSI}$ = nilai RSSI rata-rata (dBm)

$RSSI_i$ = nilai RSSI pada pengukuran ke- i

n = jumlah pengukuran (10 kali)

Pada jarak 1 meter, 5 meter, dan 10 meter, jumlah data yang digunakan dalam perhitungan rata-rata masing-masing adalah 10 data. Pada jarak 20 meter digunakan 8 data RSSI karena terdapat dua percobaan yang mengalami kondisi Gagal Terhubung. Sementara itu, pada jarak 30 meter digunakan 4 data RSSI karena terdapat enam percobaan yang mengalami kondisi Gagal Terhubung. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh nilai RSSI minimum, maksimum, dan rata-rata sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.6.

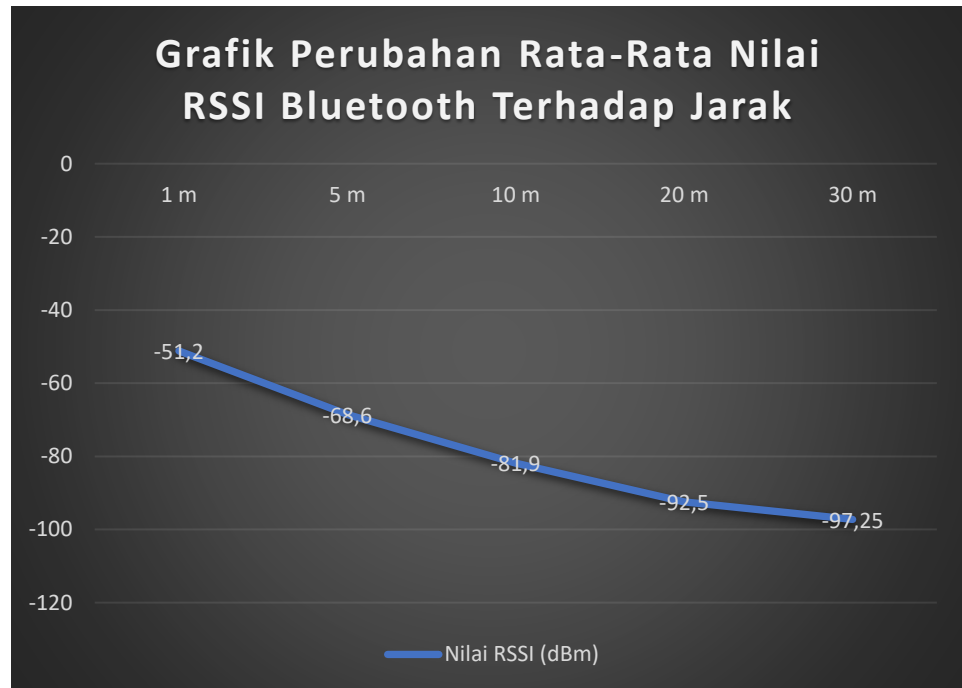
Tabel 4.6 Hasil Pengujian RSSI Bluetooth

No	Jarak (m)	RSSI Minimum	RSSI Maksimum	RSSI Rata-Rata
1	1	-54	-49	-51,2
2	5	-74	-64	-68,6
3	10	-91	-75	-81,9
4	20	-98	-87	-92,5
5	30	-99	-95	-97,25

Berdasarkan Tabel 4.6, nilai RSSI rata-rata mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jarak. Pada jarak 1 meter diperoleh nilai RSSI rata-rata sebesar -51,2 dBm, kemudian menurun menjadi -68,6 dBm pada jarak 5 meter, -81,9 dBm pada jarak 10 meter, -92,5 dBm pada jarak 20 meter, dan -97,25 dBm pada jarak 30 meter. Hasil tersebut menunjukkan

adanya kecenderungan penurunan kekuatan sinyal Bluetooth pada jarak pengujian yang semakin jauh.

Untuk mempermudah pengamatan terhadap perubahan nilai RSSI pada setiap variasi jarak, nilai RSSI rata-rata selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik.



Gambar 4.25 Grafik Perubahan Rata-Rata Nilai RSSI Bluetooth Terhadap Jarak

Berdasarkan Gambar 4.25, nilai RSSI rata-rata menunjukkan pola penurunan seiring dengan bertambahnya jarak antara perangkat pengirim dan penerima. Nilai RSSI rata-rata berubah dari $-51,2$ dBm pada jarak 1 meter menjadi $-97,25$ dBm pada jarak 30 meter. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa kekuatan sinyal Bluetooth yang diterima semakin rendah ketika jarak pengujian bertambah.

Selain penurunan nilai RSSI, hasil pengujian menunjukkan adanya penurunan keberhasilan komunikasi pada jarak yang lebih jauh. Pada jarak 1 meter, 5 meter, dan 10 meter, seluruh percobaan berhasil menghasilkan nilai RSSI. Pada jarak 20 meter, terdapat dua dari sepuluh percobaan yang mengalami kondisi Gagal Terhubung sehingga tingkat keberhasilan komunikasi berdasarkan percobaan yang dilakukan adalah 80%. Pada jarak 30 meter, terdapat enam dari sepuluh percobaan yang mengalami kondisi

Gagal Terhubung sehingga hanya empat percobaan yang berhasil menghasilkan nilai RSSI.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan jarak tidak hanya berkaitan dengan penurunan nilai RSSI, tetapi juga berkaitan dengan menurunnya keberhasilan komunikasi Bluetooth pada kondisi pengujian. Kondisi ini terlihat lebih jelas pada jarak 30 meter, ketika sebagian besar percobaan mengalami kegagalan koneksi.

Perubahan nilai RSSI dan keberhasilan komunikasi dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan pengujian. Pengujian dilakukan di Hanggar Pendidikan Politeknik Negeri Batam yang memiliki struktur logam, rangka bangunan, badan pesawat, serta berbagai peralatan yang dapat memengaruhi propagasi sinyal nirkabel. Kondisi lingkungan tersebut dapat menyebabkan pantulan dan pelemahan sinyal sehingga kualitas komunikasi dapat mengalami variasi pada setiap percobaan. Namun, berdasarkan data yang diperoleh, terdapat kecenderungan yang konsisten berupa penurunan nilai RSSI seiring dengan bertambahnya jarak.

Berdasarkan hasil pengujian, nilai RSSI Bluetooth mengalami penurunan dari $-51,2$ dBm pada jarak 1 meter menjadi $-97,25$ dBm pada jarak 30 meter. Komunikasi berhasil pada seluruh percobaan hingga jarak 10 meter, sedangkan pada jarak 20 meter terdapat dua percobaan yang mengalami kondisi Gagal Terhubung. Pada jarak 30 meter, jumlah kegagalan meningkat menjadi enam percobaan dari total 10 percobaan. Hasil pengujian Bluetooth selanjutnya digunakan sebagai data pembanding terhadap hasil pengujian LoRa dan Wi-Fi untuk mengetahui karakteristik komunikasi ketiga teknologi pada lingkungan Hanggar Pendidikan.

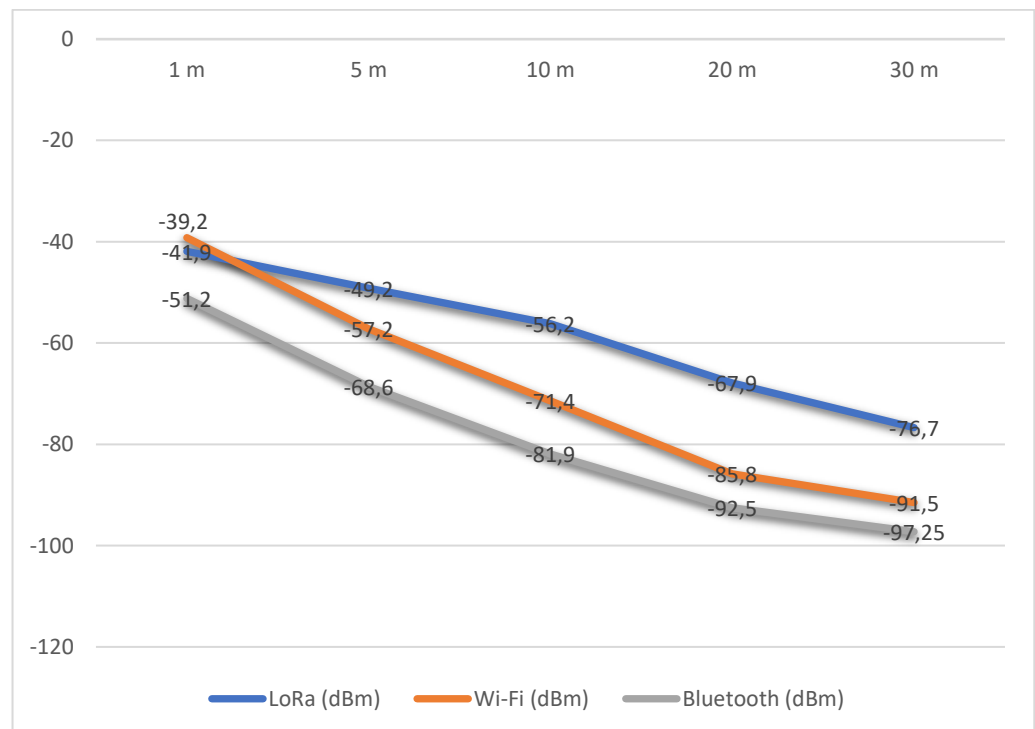
4.2.2.4 Perbandingan RSSI LoRa, Wi-Fi, dan Bluetooth

Perbandingan nilai RSSI dilakukan untuk mengetahui karakteristik kekuatan sinyal LoRa, Wi-Fi, dan Bluetooth pada variasi jarak yang sama. Dalam penelitian ini, LoRa digunakan sebagai teknologi komunikasi utama pada sistem RTLS, sedangkan Wi-Fi dan Bluetooth digunakan sebagai teknologi pembanding. Perbandingan dilakukan berdasarkan nilai RSSI rata-rata yang diperoleh dari hasil pengukuran pada jarak 1 meter, 5 meter, 10 meter, 20 meter, dan 30 meter.

Tabel 4.7 Perbandingan Nilai RSSI Rata-Rata LoRa, Wi-Fi, dan Bluetooth

No	Jarak (m)	Nilai Rata-Rata		
		LoRa (dBm)	Wi-Fi (dBm)	Bluetooth (dBm)
1.	1	-41,9	-39,2	-51,2
2.	5	-49,2	-57,2	-68,6
3.	10	-56,2	-71,4	-81,9
4.	20	-67,9	-85,8	-92,5
5.	30	-76,7	-91,5	-97,25

Berdasarkan Tabel 4.7, ketiga teknologi menunjukkan kecenderungan penurunan nilai RSSI seiring dengan bertambahnya jarak antara perangkat pengirim dan penerima. Pada jarak 1 meter, Wi-Fi memiliki nilai RSSI rata-rata sebesar $-39,2$ dBm, LoRa sebesar $-41,9$ dBm, dan Bluetooth sebesar $-51,2$ dBm. Untuk mempermudah pengamatan terhadap perubahan nilai RSSI dan perbedaan karakteristik ketiga teknologi pada setiap variasi jarak, data tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik.



Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Nilai RSSI Rata-Rata LoRa, Wi-Fi, dan Bluetooth Terhadap Jarak

Berdasarkan Gambar 4.26, terlihat bahwa nilai RSSI ketiga teknologi mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jarak pengujian. Pada jarak 1 meter, nilai RSSI rata-rata Wi-Fi merupakan yang tertinggi, yaitu $-39,2$ dBm, diikuti LoRa sebesar $-41,9$ dBm dan Bluetooth sebesar $-51,2$ dBm. Namun, seiring bertambahnya jarak, perubahan nilai RSSI pada ketiga teknologi menunjukkan karakteristik yang berbeda.

Pada jarak 5 meter, nilai RSSI rata-rata LoRa sebesar $-49,2$ dBm, sedangkan Wi-Fi dan Bluetooth masing-masing sebesar $-57,2$ dBm dan $-68,6$ dBm. Pada jarak 10 meter, nilai RSSI LoRa sebesar $-56,2$ dBm, sementara Wi-Fi dan Bluetooth masing-masing sebesar $-71,4$ dBm dan $-81,9$ dBm. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa nilai RSSI LoRa mengalami penurunan yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan Wi-Fi dan Bluetooth pada pertambahan jarak yang sama.

Perbedaan tersebut semakin terlihat pada jarak 20 meter dan 30 meter. Pada jarak 20 meter, LoRa memiliki nilai RSSI rata-rata sebesar $-67,9$ dBm, sedangkan Wi-Fi sebesar $-85,8$ dBm dan Bluetooth sebesar $-92,5$ dBm. Selanjutnya, pada jarak 30 meter, nilai RSSI rata-rata LoRa sebesar $-76,7$ dBm, Wi-Fi sebesar $-91,5$ dBm, dan Bluetooth sebesar $-97,25$ dBm. Dengan demikian, pada jarak 5 meter hingga 30 meter, LoRa menunjukkan nilai RSSI rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan Wi-Fi dan Bluetooth.

Secara keseluruhan, dari jarak 1 meter hingga 30 meter, nilai RSSI rata-rata LoRa berubah dari $-41,9$ dBm menjadi $-76,7$ dBm. Pada rentang jarak yang sama, nilai RSSI Wi-Fi berubah dari $-39,2$ dBm menjadi $-91,5$ dBm, sedangkan Bluetooth berubah dari $-51,2$ dBm menjadi $-97,25$ dBm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penurunan nilai RSSI LoRa pada rentang pengujian lebih kecil dibandingkan dengan Wi-Fi dan Bluetooth.

Perbedaan karakteristik RSSI tersebut menunjukkan bahwa pertambahan jarak memberikan pengaruh terhadap kekuatan sinyal ketiga teknologi komunikasi, tetapi tingkat penurunannya berbeda pada masing-masing teknologi. Pada lingkungan Hanggar Pendidikan yang memiliki struktur bangunan, badan pesawat, dan peralatan yang dapat memengaruhi propagasi sinyal, LoRa menunjukkan karakteristik nilai RSSI yang relatif

lebih konsisten pada jarak pengujian yang lebih jauh dibandingkan dengan Wi-Fi dan Bluetooth.

Untuk melengkapi analisis nilai RSSI, dilakukan pula pengamatan terhadap keberhasilan komunikasi pada setiap variasi jarak. Tingkat keberhasilan dihitung berdasarkan jumlah percobaan yang berhasil menghasilkan data RSSI dibandingkan dengan total 10 percobaan pada setiap jarak. Hasil perbandingan tingkat keberhasilan komunikasi ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Perbandingan Tingkat Keberhasilan Komunikasi

No	Teknologi	1m	5m	10m	20m	30m
1.	LoRa	100%	100%	100%	100%	100%
2.	Wi-Fi	100%	100%	100%	100%	80%
3.	Bluetooth	100%	100%	100%	80%	40%

Keterangan: Persentase menunjukkan tingkat keberhasilan komunikasi dari 10 kali percobaan pada setiap jarak.

Berdasarkan Tabel 4.8, LoRa menunjukkan tingkat keberhasilan komunikasi sebesar 100% pada seluruh variasi jarak yang diuji. Wi-Fi juga menunjukkan tingkat keberhasilan sebesar 100% pada jarak 1 meter hingga 20 meter, kemudian menurun menjadi 80% pada jarak 30 meter. Sementara itu, Bluetooth memiliki tingkat keberhasilan sebesar 100% pada jarak 1 meter hingga 10 meter, menurun menjadi 80% pada jarak 20 meter, dan menjadi 40% pada jarak 30 meter.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penurunan nilai RSSI pada jarak yang lebih jauh juga disertai dengan penurunan keberhasilan komunikasi pada Wi-Fi dan Bluetooth. Pada Wi-Fi, dua dari sepuluh percobaan pada jarak 30 meter mengalami kondisi Gagal Terhubung. Pada Bluetooth, dua dari sepuluh percobaan mengalami kondisi Gagal Terhubung pada jarak 20 meter, sedangkan pada jarak 30 meter terdapat enam dari sepuluh percobaan yang mengalami kondisi tersebut. Sementara itu, seluruh percobaan LoRa pada rentang jarak 1 meter hingga 30 meter berhasil menerima data.

Kondisi Gagal Terhubung pada Wi-Fi dan Bluetooth menunjukkan bahwa pada jarak pengujian yang lebih jauh, penurunan kekuatan sinyal dapat disertai dengan berkurangnya keberhasilan komunikasi. Namun,

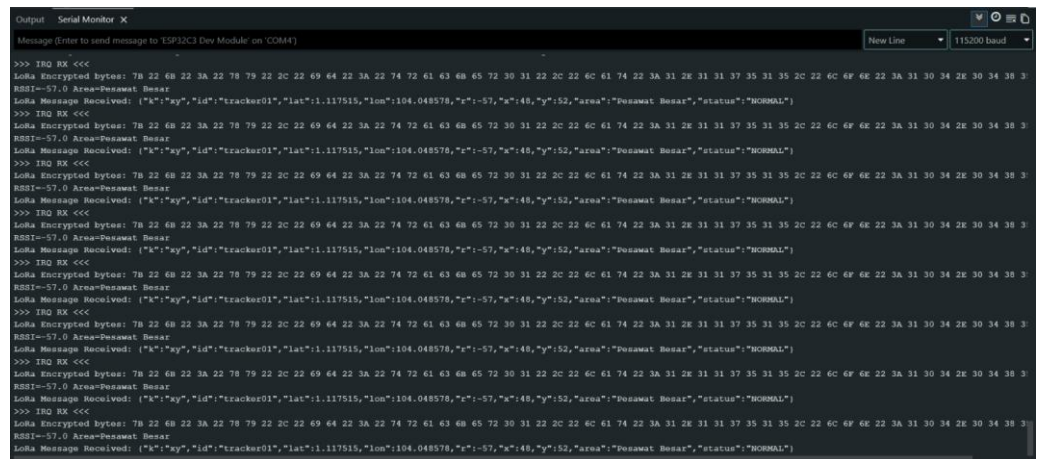
penyebab spesifik dari setiap kegagalan koneksi tidak dapat ditentukan hanya berdasarkan nilai RSSI. Kondisi lingkungan Hanggar Pendidikan, seperti struktur logam, badan pesawat, peralatan, serta karakteristik propagasi sinyal, dapat memengaruhi kualitas komunikasi yang diterima oleh perangkat.

Berdasarkan keseluruhan hasil perbandingan, LoRa menunjukkan karakteristik komunikasi yang lebih konsisten pada rentang pengujian 1–30 meter dibandingkan dengan Wi-Fi dan Bluetooth. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai RSSI yang relatif lebih tinggi pada jarak 5–30 meter serta tingkat keberhasilan komunikasi sebesar 100% pada seluruh percobaan. Hasil ini mendukung penggunaan LoRa sebagai teknologi komunikasi utama dalam sistem *monitoring* RTLS yang dikembangkan pada penelitian ini, sedangkan Wi-Fi dan Bluetooth digunakan sebagai teknologi pembanding.

4.2.2.5 Pengujian Deteksi Zona dan Notifikasi

Pengujian deteksi zona dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menentukan status perangkat berdasarkan posisi HTIT Tracker terhadap area pemantauan yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan dengan mengamati perubahan status perangkat ketika HTIT Tracker berada di dalam dan di luar batas zona yang telah dikonfigurasi pada Dashboard RTLS. Selain itu, pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa perubahan status tersebut dapat diteruskan melalui sistem dan menghasilkan notifikasi peringatan pada dashboard.

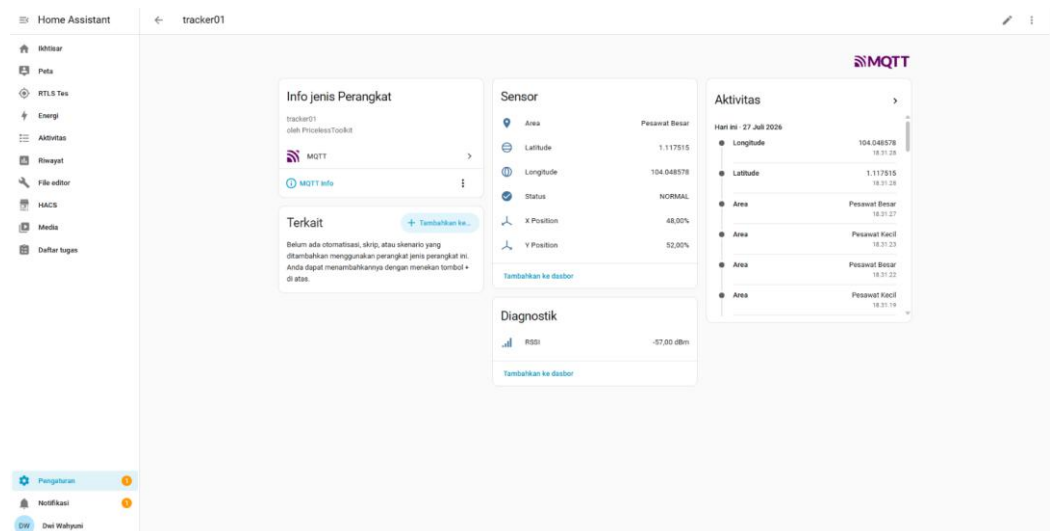
Pada kondisi awal, HTIT Tracker ditempatkan di dalam area pemantauan. Data yang dikirimkan oleh tracker diterima oleh LoRa *gateway* dan diteruskan melalui MQTT menuju Raspberry Pi 4. Informasi yang diterima kemudian diproses oleh *Home Assistant* sebelum ditampilkan pada *dashboard* RTLS.



Gambar 4.27 Tampilan Serial Monitor

Berdasarkan Gambar 4.27, Serial Monitor menunjukkan bahwa data dari HTIT Tracker berhasil diterima melalui komunikasi LoRa. Data yang diterima memuat informasi identitas tracker, koordinat, area, dan status perangkat. Pada kondisi tersebut, status perangkat terbaca NORMAL, yang menunjukkan bahwa HTIT Tracker berada pada area pemantauan yang telah ditentukan.

Data yang diterima selanjutnya diteruskan melalui MQTT dan diintegrasikan ke dalam *Home Assistant*.

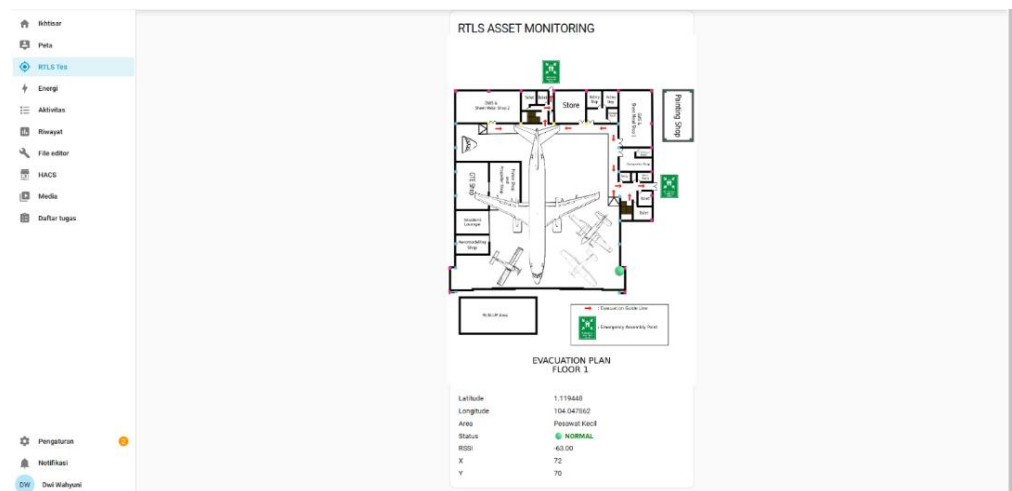


Gambar 4.28 Tampilan Data Tracker pada *Home Assistant*

Berdasarkan Gambar 4.28, data tracker01 telah berhasil terintegrasi ke dalam *Home Assistant*. Informasi yang ditampilkan meliputi area, latitude, longitude, status, posisi X dan Y, serta nilai RSSI. Keberadaan data tersebut

menunjukkan bahwa informasi yang berasal dari proses komunikasi perangkat telah berhasil diterima dan diproses oleh *platform monitoring*.

Selanjutnya, ketika HTIT Tracker berada di dalam area yang telah ditentukan, *Dashboard* RTLS menampilkan status NORMAL.



Gambar 4.29 Tampilan *Dashboard* Saat Status Normal

Berdasarkan Gambar 4.29, *Dashboard* RTLS menampilkan posisi HTIT Tracker pada *floor plan* beserta informasi koordinat, area, status, RSSI, serta posisi X dan Y. Status NORMAL menunjukkan bahwa perangkat masih berada di dalam zona pemantauan yang telah ditentukan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem dapat mengenali posisi perangkat dan menampilkan statusnya pada *dashboard*.

Pengujian selanjutnya dilakukan dengan memindahkan HTIT Tracker ke luar batas area pemantauan yang telah ditentukan. Setelah perangkat berada di luar zona, sistem melakukan perubahan status berdasarkan posisi tracker dan menampilkan peringatan pada *Dashboard* RTLS.



Gambar 4.30 Tampilan Dashboard Saat Status Out Of Zone

Berdasarkan Gambar 4.30, Dashboard RTLS menampilkan perubahan status perangkat menjadi OUT_OF_ZONE. Sistem juga menampilkan notifikasi peringatan yang menyatakan bahwa Tracker 01 telah keluar dari area hanggar. Informasi tersebut menunjukkan bahwa mekanisme deteksi zona dapat mengenali kondisi ketika perangkat berada di luar batas area yang telah ditentukan dan memberikan peringatan kepada pengguna.

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, sistem berhasil melakukan deteksi terhadap kondisi perangkat baik ketika berada di dalam maupun di luar zona pemantauan. Pada kondisi perangkat berada di dalam zona, sistem menampilkan status NORMAL, sedangkan ketika perangkat berada di luar zona, sistem mengubah status menjadi OUT_OF_ZONE dan menampilkan notifikasi peringatan pada Dashboard RTLS. Hasil tersebut menunjukkan bahwa fungsi deteksi zona dan notifikasi telah berjalan sesuai dengan rancangan sistem yang telah ditetapkan.

4.2.2.6 Pengujian Integrasi Sistem

Pengujian integrasi sistem dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan setiap komponen dalam menjalankan fungsi secara terpadu pada sistem *monitoring* aset berbasis RTLS. Pengujian ini difokuskan pada aliran data mulai dari HTIT Tracker sebagai perangkat pengirim, LoRa Gateway sebagai

penerima data, MQTT Broker sebagai media pertukaran pesan, Raspberry Pi 4 sebagai perangkat server, hingga Home Assistant sebagai platform *monitoring* dan Dashboard RTLS sebagai media penyajian informasi.

Pengujian dilakukan dengan mengamati proses pengiriman dan penerimaan data pada setiap tahapan komunikasi. HTIT Tracker mengirimkan data melalui komunikasi LoRa menuju LoRa Gateway. Data yang diterima oleh gateway selanjutnya diteruskan melalui jaringan lokal menggunakan protokol MQTT menuju MQTT Broker yang berjalan pada Raspberry Pi 4. Data tersebut kemudian diterima oleh Home Assistant dan ditampilkan pada Dashboard RTLS dalam bentuk informasi perangkat, antara lain identitas tracker, koordinat, area, status, posisi X dan Y, serta nilai RSSI.

Keberhasilan integrasi ditentukan berdasarkan kemampuan masing-masing komponen dalam menerima dan meneruskan data ke komponen berikutnya serta kesesuaian informasi yang ditampilkan pada Dashboard RTLS dengan data yang dikirimkan oleh HTIT Tracker. Hasil pengujian integrasi sistem disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Integrasi Sistem

No	Tahapan Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
1.	Pengiriman Data oleh HTIT Tracker	Data dikirim melalui komunikasi LoRa	Data HTIT Tracker Berhasil Dikirim	Berhasil
2.	Penerimaan data oleh LoRa <i>Gateway</i>	Paket Data dari tracker diterima oleh <i>gateway</i>	Data tracker01 berhasil diterima	Berhasil
3.	Penerusan data melalui MQTT	Data diteruskan dari <i>gateway</i>	Data berhasil diteruskan melalui jaringan lokal	Berhasil

		menuju MQTT Broker		
4.	Penerimaan data oleh MQTT Broker	Data dari <i>gateway</i> diterima oleh MQTT Broker	Data tracker berhasil diterima	Berhasil
5.	Integrasi dengan <i>Home Assistant</i>	Data mQTT dapat diterima dan ditampilkan pada <i>Home Assistant</i>	Data tracker01 berhasil ditampilkan sebagai perangkat	Berhasil
6.	Penyajian data pada <i>dashboard</i> RTLS	Informasi perangkat ditampilkan pada <i>dashboard</i>	Koordinat, area, status, Posisi X-Y, dan RSSI berhasil ditampilkan	Berhasil
7.	Perubahan status zona	<i>Dashboard</i> menampilkan perubahan status	Status Normal dan Out of Zone berhasil ditampilkan	Berhasil

Berdasarkan Tabel 4.9, seluruh tahapan integrasi sistem dapat berjalan sesuai dengan fungsi yang dirancang. HTIT Tracker berhasil mengirimkan data melalui komunikasi LoRa dan data tersebut dapat diterima oleh LoRa *gateway*. Selanjutnya, data diteruskan melalui jaringan lokal menggunakan protokol MQTT menuju MQTT Broker yang berjalan pada Raspberry Pi 4.

Data yang diterima oleh MQTT Broker kemudian dapat diintegrasikan dengan *Home Assistant*. Hasil integrasi ditunjukkan dengan munculnya perangkat tracker01 beserta informasi sensor yang berkaitan dengan perangkat tersebut. Informasi yang diterima selanjutnya dapat ditampilkan pada *dashboard* RTLS dalam bentuk data koordinat, area, status, posisi X dan Y, serta nilai RSSI.

Pengujian juga menunjukkan bahwa perubahan kondisi perangkat dapat diteruskan hingga ke tingkat *dashboard*. Ketika HTIT Tracker berada pada area yang telah ditentukan, sistem menampilkan status NORMAL. Ketika perangkat berada di luar batas area pemantauan, sistem menampilkan status OUT_OF_ZONE dan memberikan notifikasi peringatan pada *dashboard* RTLS. Hal tersebut menunjukkan bahwa integrasi antara proses komunikasi data, pengolahan informasi, dan penyajian hasil *monitoring* telah berjalan secara terpadu.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa komponen utama sistem telah berhasil terintegrasi dalam satu alur komunikasi, mulai dari HTIT Tracker, LoRa Gateway, MQTT Broker, Raspberry Pi 4, Home Assistant, hingga Dashboard RTLS. Dengan demikian, sistem mampu menerima, meneruskan, mengolah, dan menyajikan data *monitoring* secara terintegrasi sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan.

4.2.2.7 User Acceptance Testing (UAT)

Setelah pengujian teknis dan integrasi sistem dilakukan, tahap selanjutnya adalah *User Acceptance Testing* (UAT). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat penerimaan pengguna terhadap sistem *monitoring* aset berbasis RTLS yang telah dikembangkan. UAT difokuskan pada penilaian pengguna terhadap kemudahan penggunaan sistem, pemahaman terhadap informasi yang ditampilkan, kemampuan *dashboard* dalam mendukung proses *monitoring*, fungsi *floor plan*, serta kemampuan sistem dalam memberikan informasi kondisi *Out of Zone*.

Penilaian dilakukan menggunakan kuesioner yang terdiri atas 10 pernyataan. Setiap pernyataan dinilai menggunakan skala Likert dengan rentang nilai 1 sampai 5, yaitu 1 untuk *Sangat Tidak Setuju*, 2 untuk *Tidak Setuju*, 3 untuk *Cukup/Netral*, 4 untuk *Setuju*, dan 5 untuk *Sangat Setuju*. Hasil penilaian pengguna terhadap sistem ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil *User Acceptance Testing* (UAT)

No	Pertanyaan	Total Skor	Rata-Rata
1.	Sistem RTLS mudah digunakan untuk melakukan monitoring aset tools.	44	4,40
2.	Tampilan <i>dashboard</i> RTLS mudah dipahami oleh pengguna.	41	4,10
3.	Informasi yang ditampilkan pada <i>dashboard</i> RTLS mudah dipahami.	40	4,0
4.	<i>Floor plan</i> pada <i>dashboard</i> RTLS membantu pengguna mengetahui posisi aset yang sedang dipantau.	42	4,20
5.	Informasi koordinat dan status perangkat membantu pengguna dalam melakukan <i>monitoring</i> aset.	43	4,30
6.	<i>Dashboard</i> RTLS dapat membantu pengguna memantau keberadaan aset secara <i>real-time</i> .	43	4,30
7.	Sistem dapat memberikan informasi ketika perangkat berada di dalam area monitoring.	42	4,20
8.	Sistem dapat mendeteksi ketika perangkat berada diluar area <i>monitoring (Out of Zone)</i>	38	3,80
9.	Notifikasi <i>Out of Zone</i> membantu pengguna mengetahui ketika aset keluar dari area <i>monitoring</i> .	43	4,30
10.	Secara keseluruhan, sistem RTLS yang dikembangkan dapat membantu proses <i>monitoring</i> aset <i>tools</i> di Hanggar Pendidikan.	35	3,50
Total		411	4,11

Perhitungan Nilai UAT

Jumlah responden = 10 orang

Jumlah pertanyaan = 10 pertanyaan

Skor maksimum =

$$10 \times 10 \times 5 = 500$$

Total skor yang diperoleh =

411

Nilai UAT dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Persentase} = \frac{\sum \text{skor aktual}}{\sum \text{skor maksimum}} \times 100\%$$

$$\text{UAT (\%)} = \frac{411}{500} \times 100\%$$

$$\text{UAT (\%)} = 82,2\%$$

Berdasarkan Tabel 4.10, diperoleh total skor sebesar 411 dari skor maksimum sebesar 500. Nilai rata-rata keseluruhan yang diperoleh adalah 4,11 dari skala maksimum 5. Berdasarkan perhitungan persentase, tingkat penerimaan pengguna terhadap sistem adalah sebesar 82,2%.

Secara individual, pernyataan pertama memperoleh nilai rata-rata tertinggi sebesar 4,40 atau 88%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengguna memberikan penilaian positif terhadap kemudahan penggunaan sistem RTLS dalam melakukan *monitoring* aset *tools*. Pernyataan mengenai informasi koordinat dan status perangkat, kemampuan *dashboard* dalam melakukan *monitoring* secara *real-time*, serta manfaat notifikasi *Out of Zone* masing-masing memperoleh rata-rata sebesar 4,30 atau 86%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa informasi yang disediakan oleh sistem dinilai dapat mendukung aktivitas *monitoring* aset.

Pada aspek visualisasi lokasi, pernyataan mengenai penggunaan *floor plan* memperoleh rata-rata 4,20 atau 84%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa representasi posisi perangkat pada *floor plan* dinilai membantu pengguna dalam mengetahui lokasi aset yang sedang dipantau. Sementara itu, kemampuan sistem dalam memberikan informasi ketika perangkat berada di dalam area *monitoring* memperoleh nilai rata-rata 4,20 atau 84%.

Pernyataan mengenai kemampuan sistem mendeteksi kondisi *Out of Zone* memperoleh nilai rata-rata 3,80 atau 76%. Nilai tersebut menunjukkan

bahwa fungsi deteksi perangkat di luar area pemantauan telah diterima secara positif oleh pengguna, tetapi memperoleh penilaian yang lebih rendah dibandingkan beberapa aspek lainnya. Hasil ini dapat menjadi bahan evaluasi untuk meningkatkan kestabilan dan ketepatan mekanisme deteksi zona pada pengembangan sistem selanjutnya.

Nilai terendah terdapat pada pernyataan mengenai penilaian keseluruhan terhadap kemampuan sistem dalam membantu proses *monitoring* aset *tools*, yaitu rata-rata 3,50 atau 70%. Meskipun merupakan nilai terendah dalam pengujian, hasil tersebut tetap menunjukkan adanya penerimaan positif terhadap sistem. Nilai ini juga menunjukkan bahwa masih terdapat ruang untuk melakukan penyempurnaan terhadap sistem, terutama pada aspek yang berkaitan dengan keseluruhan pengalaman penggunaan dan penerapan sistem dalam proses *monitoring* aset.

Secara keseluruhan, hasil UAT menunjukkan nilai rata-rata sebesar 4,11 dari 5 dengan persentase penerimaan sebesar 82,2%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem *monitoring* aset berbasis RTLS yang dikembangkan dapat diterima oleh pengguna dan dinilai mampu mendukung proses *monitoring* aset *tools* di Hanggar Pendidikan.

BAB V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian sistem monitoring pelacakan lokasi aset *tools* berbasis *Real-Time Location System* (RTLS) di Hanggar Pendidikan Politeknik Negeri Batam, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring pelacakan lokasi aset berbasis RTLS berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan mengintegrasikan HTIT Tracker, LoRa Gateway, Raspberry Pi 4, MQTT Broker, Home Assistant, dan Dashboard RTLS. Data dari HTIT Tracker berhasil dikirim melalui komunikasi LoRa menuju LoRa Gateway, kemudian diteruskan melalui jaringan lokal menuju MQTT Broker pada Raspberry Pi 4 dan diproses oleh Home Assistant untuk ditampilkan pada Dashboard RTLS. Dashboard mampu menampilkan informasi identitas perangkat, koordinat, posisi X dan Y, status, nilai RSSI, serta posisi perangkat pada floor plan. Informasi koordinat diperoleh dari modul GNSS pada HTIT Tracker, sedangkan nilai RSSI digunakan sebagai parameter untuk mengevaluasi karakteristik kekuatan sinyal komunikasi LoRa terhadap variasi jarak.
2. Sistem berhasil memberikan informasi dan peringatan ketika aset berada di luar area pemantauan yang telah ditentukan. Ketika HTIT Tracker berada di dalam area monitoring, Dashboard RTLS menampilkan status NORMAL, sedangkan ketika perangkat terdeteksi berada di luar batas area pemantauan, sistem mengubah status menjadi OUT_OF_ZONE dan memberikan notifikasi peringatan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mendukung proses pemantauan kondisi dan keberadaan aset secara real-time melalui Dashboard RTLS.
3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan komunikasi antara HTIT Tracker dan LoRa Gateway pada seluruh variasi jarak yang diuji. Nilai RSSI rata-rata LoRa mengalami penurunan dari $-41,9$ dBm pada jarak 1 meter menjadi $-76,7$ dBm pada jarak 30 meter. Hasil perbandingan dengan Wi-Fi dan Bluetooth menunjukkan bahwa LoRa memiliki karakteristik penurunan RSSI yang relatif lebih rendah terhadap pertambahan jarak pada kondisi pengujian. Selain itu, hasil User Acceptance Testing (UAT) memperoleh nilai rata-rata 4,11 dari skala 5 dengan tingkat penerimaan pengguna sebesar 82,2%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa karakteristik komunikasi LoRa sesuai dengan kebutuhan pengujian pada lingkungan penelitian dan

sistem dapat diterima oleh pengguna untuk mendukung proses monitoring aset tools di Hanggar Pendidikan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut.

1. Pengembangan sistem multi-tracker perlu dilakukan untuk menguji kemampuan sistem dalam melakukan monitoring beberapa aset secara simultan. Penelitian ini masih menggunakan satu HTIT Tracker dan satu LoRa Gateway sehingga kemampuan sistem dalam menangani beberapa aset secara bersamaan belum divalidasi secara eksperimental.
2. Metode penentuan lokasi alternatif dapat dipertimbangkan pada penelitian selanjutnya untuk meningkatkan kestabilan dan ketepatan informasi posisi, khususnya metode yang tidak hanya menggunakan RSSI. Hal ini perlu diperhatikan karena lingkungan Hanggar Pendidikan memiliki struktur dan objek berbahan logam yang dapat memengaruhi propagasi sinyal dan menyebabkan fluktuasi nilai RSSI.
3. Pengujian dengan jumlah perangkat yang lebih besar perlu dilakukan untuk mengevaluasi skalabilitas sistem terhadap jumlah aset yang lebih mendekati kondisi operasional sebenarnya. Pengujian tersebut dapat mencakup kemampuan LoRa Gateway, MQTT Broker, Raspberry Pi 4, dan Dashboard RTLS dalam menangani peningkatan jumlah perangkat dan data secara bersamaan.
4. Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan fungsi peminjaman dan pengembalian aset secara digital, sehingga informasi lokasi dapat diintegrasikan dengan identitas pengguna, waktu peminjaman, status pengembalian, serta riwayat penggunaan tools. Pengembangan tersebut diharapkan dapat meningkatkan fungsi sistem dari sekadar monitoring lokasi menjadi sistem pengelolaan aset yang lebih terintegrasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ISO, INTERNATIONAL STANDARD ISO 5500 ASSET MANAGEMENT - Overview, principles and terminology, 1 ed., International Organization for Standardization, 2014, pp. 1-19.
- [2] A. Sholihansyah, A. Yansyah and M. J. Syafrandi, "Sistem Informasi Manajemen Aset pada Divisi Barang Milik Negara (BMN) Pada Politeknik Penerbangan Palembang Berbasis Web," *Karya Tulis Ilmiah Mahasiswa PalComTech*, pp. 1-10, 2024.
- [3] A. J. Stolzer and J. J. Goglia, *Safety Management Systems in Aviation*, 2nd Edition ed., London: CRC Press, 2016, p. 369.
- [4] F. A. Administration, *Advisory Circular*, 2024.
- [5] Y. I. Purnama, A. Irfansyah and R. D. Puspita, "Rancangan Pendeteksi Foreign Object Debris (FOD) Menggunakan Sensor Jarak HC-SR04 Berbasis Arduino dengan Tampilan Software Processing," in *Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan (SNITP)*, Surabaya, 2020.
- [6] A. H. Pohan, "Sistem Informasi Monitoring Aset Berbasis Deskto (Studi Kasus : PT. Meshindo Alloy Wheel)," Surabaya, 2020.
- [7] A. Prabowo, "Sistem Pengendalian Parkir Kendaraan Di Bandar Udara Tjilik Riwut Palangkaraya Dengan Menggunakan Radio Frequency Identification," *Indonesian Journal on Networking and Security*, pp. 50-55, 2017.
- [8] A. Y. Paramita, "Alat Penghitung Penumpang Bus Otomatis," Makassar, 2023.
- [9] A. Pratama, A. N. Amrita and D. C. Khrisne, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Listrik Tiga Fasa Berbasis Wireless Sensor Network Menggunakan LoRa Ra-02 SX1278," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, pp. 351-360, 2021.
- [10] F. D. Putra, J. Riyanto and A. F. Zulfikar, "Rancang Bangun Sistem Informasi Manajemen Aset pada Universitas Pamulang," *Journal of Engineering, Technology & Applied Science*, pp. 32-50, 2020.

- [11] R. Pratiwi, T. H. Subagyo, D. D. Kania and P. Ricardianto, "Penerapan Metode Lean Six Sigma untuk Meningkatkan Keakuratan Jadwal Perawatan Pesawat CN-295M di Skadron Teknik 021," *Jurnal Perhubungan Udara*, pp. 51-65, 2021.
- [12] M. A. R. Setyawan, M. Rifa'i and A. Wulansari, "Analisis Pemetaan Masalah Pada Perawatan Pesawat Udara dengan Menggunakan Metode Human Factor Analysis and Classification System (HFACS)," in *Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan (SNITP)*, Surabaya, 2019.
- [13] S. A. Rakhma, R. Tullah and S. M. Mustafa, "Sistem Monitoring Data Aset dan Inventaris IT Berbasis Web pada PT. Pan Brothers Tbk," *Jurnal Topik Global*, pp. 60-65, 2022.
- [14] M. Rizal, H. Tolle and L. Fanani, "Pengembangan Sistem Monitoring Aset Berbasis Lokasi Pada Platform Mobile," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, pp. 1278-1285, 2019.
- [15] D. Indraprakoso and H. , "Eksplorasi Potensi Penggunaan Blockchain dalam Optimalisasi Manajemen Pelabuhan di Indonesia," *Sanskara Manajemen dan Bisnis*, pp. 140-160, 2024.
- [16] M. N. K. Boulos and G. Berry, "Real-Time Locating Systems (RTLS) in Healthcare: a Condensed Primer," *International Journal of Health Geographics*, pp. 1-8, 2012.
- [17] H. S. Ziliwu, F. J. P. Waruwu and F. A. Gulo, "Analisis Gelombang Elektromagnetik dan Pengaruhnya pada Teknologi Komunikasi," *Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan, dan Teknik*, vol. 02, no. 02, pp. 1-8, 2025.
- [18] S. M. Prasetyo, A. I. Udayana, D. A. Kusuma, F. Ripai and Y. A. Sutaanjali, "Analisis Pemanfaatan Gelombang Radio Dalam Komunikasi Nirkabel : Dari Radio Tradisional Hingga Jaringan 5G," *BIKMA : Buletin Ilmiah Ilmu Komputer dan Multimedia*, vol. 2, no. 1, pp. 46-54, 2024.
- [19] M. Y. Muhaimin, A. D. Santoso and M. Rahmawati, "RANCANG BANGUN PENDETEKSI CUACA MENGGUNAKAN LORA (LONG RANGE) BERBASIS MIKROKONTROLER ESP32," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 2, pp. 820-828, 2025.

- [20] D. D. Pebrian, "ALAT UKUR SINYAL LORA UNTUK MENGETAHUI JANGKAUAN ANTARA END DEVICE DENGAN GATEWAY," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 1, pp. 694-701, 2024.
- [21] S. Yudho and T. Koerniawan, "Aplikasi Monitoring Energi SHS Off-Grid Menggunakan LoRa," *Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah*, vol. 13, no. 1, pp. 26-32, 2021.
- [22] N. F. Puspitasari, "ANALISIS RSSI (RECEIVE SIGNAL STRENGTH INDICATOR) TERHADAP KETINGGIAN PERANGKAT WI-FI DI LINGKUNGAN INDOOR," *Jurnal Ilmiah Dasi*, vol. 15, no. 4, pp. 32-38, 2014.
- [23] A. Syahfitri, "Internet of Things (IoT), Sejarah, Teknologi, dan Penerapannya," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains, dan Informatika*, pp. 113-120, 2025.
- [24] H. Y. P. Munthe, M. F. Hernando, D. Amalia, M. I. Martadinata, A. M. Soleh and D. Kurniadi, "Optimalisasi Monitoring Peralatan Genset Manajemen Pemeliharaan, IoT, dan Desain," *Journal of Engineering and Transportation*, pp. xx-xxx, 2023.
- [25] R. M. R. Akbar, T. Y. Arif and M. Irhamsyah, "Analisis Performansi Protokol MQTT Pada Sistem Pemantauan Kualitas Udara Ruangan Berbasis IoT," *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*, vol. 8, no. 3, pp. 102-109, 2023.
- [26] R. A. Budiman, D. Wahyudin and M. Somantri, "Rancang Bangun Smart Home dengan Platform," *Seminar Nasional Teknik Elektro (SNTE)*, 2024.
- [27] I. and S. Rahmayudha, "Perancangan Model Dashboard Untuk Monitoring Evaluasi Mahasiswa," *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT (JPIT)*, pp. 13-17, 2017.
- [28] Y. Gusnadi and A. Hermawan , "Designing Employee Performance Monitoring Dashboard Using Key Performance Indicator (KPI)," *Bit-Tech*, pp. 81-88, 2020.
- [29] S. Sinko , E. Marinic, B. Poljanec, M. Obrecht and B. Gajsek, "Performance-Oriented UWB RTLS Decision-Making Approach," *Sustainability*, pp. 1-22, 2022.
- [30] A. Lorence, J. Szarata and M. Czuba, "Real-Time Location System (RTLS) Based on the Bluetooth Technology for Internal Logistic," *Sustainability*, pp. 1-22, 2023.

- [31] A. E. Heredia, P. F. Lucero, F. A. Salinas and A. V. Rodas, "Design and Implementation of Wireless Sensor Network with LoRa Technology for Industrial Monitoring," *Latin-American Journal of Computing (LAJC)*, pp. 50-62, 2020.
- [32] A. S. Ja'afar, K. Suseenthiran, K. M. Saipullah, M. Z. A. A. Aziz, A. W. Y. Khang and A. Salleh, "Development of Real-Time Monitoring BLE-LoRa Positioning System Based on RSSI for Non-Line of Sight Condition," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 30, no. 2, pp. 972-981, 2023.
- [33] S. Lin, Z. Ying and K. Zheng, "Design and Implementation of Location and Activity Monitoring System Based on LoRa," *IEEE Communications Survey and Tutorial*, 2017.
- [34] F. Heriyanti and A. Ishak, "Design of Logistic Information System in the Finished Product Warehouse with the Waterfall Method : Review Literature," in *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*, Chicago, 2019.
- [35] M. S. N. Wahid, A. M. Najafi, A. Sihaj, R. Alik and A. A. Z. Irsani, "Technes : Penyedia Layanan Jasa Service Berbasis Aplikasi Android," *Indonesian Technology and Education Journal*, pp. 83-93, 2023.
- [36] A. Herzanita, "Penggunaan Standard WBS (Work Breakdown Structure) Pada Proyek Bangunan Gedung," *Jurnal Infrastruktur*, vol. 5, no. 1, pp. 29-34, 2019.
- [37] Y. Wang, X. Yang, Y. Zhao, Y. Liu and L. Cuthbert, "Bluetooth Positioning using RSSI and Triangulation," 2018.
- [38] Y. Bassil, "A Simulation Model for the Waterfall Software Development Life Cycle," *international Journal of Engineering & Technology*, vol. 2, no. 5, pp. 1-7, 2012.
- [39] I. Sommerville, *Software Engineering* (10th ed.), Pearson, 2016.