

# Uji Komparatif Lora 433 MHz dan 915 MHz Sebagai Media Pengirim Data Pemantauan *Box ZP*

Dara Aulia Feryando<sup>1</sup>, Mariana Diah Puspitasari<sup>2</sup>, Fathurrozi Winjaya<sup>3</sup>, Agustinus Prasetyo Edy  
Wibowo<sup>4</sup>, Kurniawan Sulistiyanto<sup>5</sup>

Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun<sup>1,2,3,4,5</sup>

Corresponding Author : dara@ppi.ac.id

## ABSTRAK

Di dalam penelitian ini, *Long Range* (Lora) 433 MHz dan 915 MHz diterapkan sebagai media pengirim data pada alat pemantauan *box ZP*. *Box ZP* merupakan salah satu peralatan *axle counter* yang terletak di luar ruangan dan berfungsi sebagai pelindung modul VUR dari pengaruh cuaca. Uji perbandingan kinerja Lora 433 MHz dan 915 MHz sebagai media pengirim data dilakukan dengan mempertimbangkan parameter jarak, RSSI, *packet loss*, dan *delay*. Hasil pengujian jarak menunjukkan bahwa hubungan antara jarak *transmitter* dan *receiver* dengan nilai RSSI berbanding terbalik. Pada pengujian nilai RSSI, Lora 433 MHz menunjukkan kinerja RSSI yang lebih baik dibandingkan dengan Lora 915 MHz pada variasi jarak 158 m, 284 m, 483 m, dan 842 m. Pada pengujian *packet loss*, Lora 915 MHz menunjukkan kinerja lebih baik dibandingkan Lora 433 MHz pada variasi jarak 284 m, 483 m, dan 842 m. Dari segi *delay* pengiriman data, LoRa 915 MHz mengirimkan data lebih cepat dibandingkan LoRa 433 MHz dengan selisih kecepatan sebesar 8%.

**Kata Kunci:** Lora 433MHz, Lora 915MHz, RSSI, Packet Loss, Delay.

## ABSTRACT

*In this study, Long Range (Lora) 433 MHz and 915 MHz were applied as data transmission media on the ZP box monitoring tool. The ZP box is one of the axle counter equipment located outdoors and a protector of the VUR module from the effects of weather. The comparative test of the performance of Lora 433 MHz and 915 MHz as data transmission media was carried out by considering the parameters of distance, RSSI, packet loss, and delay. The distance test shows that the relationship between the distance of the transmitter and receiver with the RSSI value is inversely proportional. In the RSSI test, Lora 433 MHz has better RSSI performance compared to Lora 915 MHz at distance variations of 158 m, 284 m, 483 m, and 842 m. In the packet loss test, Lora 915 MHz has better performance than Lora 433 MHz at distance variations of 284 m, 483 m, and 842 m. In terms of data transmission delay, LoRa 915 MHz sends data faster than LoRa 433 MHz with a speed difference of 8%.*

**Keywords:** Lora 433MHz, Lora 915MHz, RSSI, Packet Loss, Delay.

## 1 PENDAHULUAN

Lora (*Long range*) adalah salah satu teknologi modulasi nirkabel yang mampu mentransmisikan data jarak jauh. Dewasa ini, Lora banyak digunakan untuk transmisi data pada teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *Wireless Sensor Network* (WSN) [1][2][3][4][5]. Sebelum Lora, beberapa teknologi modulasi nirkabel yang telah ada, yaitu RFID, Zigbee, *Bluetooth*, dan Wi-Fi. Namun, di antara beberapa teknologi tersebut, Lora memiliki kelebihan dari aspek jarak transmisi dan konsumsi daya [6]. Lora dapat mentransmisikan data sampai dengan jarak 15000 meter dan membutuhkan konsumsi daya rendah [6]. Lora memiliki kemampuan transmisi pada jarak yang lebih jauh dibandingkan dengan teknologi nirkabel

lainnya karena Lora menggunakan modulasi *Chirp Spread Spectrum* (CSS). Modulasi CSS memiliki kelebihan dalam hal pengaturan *spreading factor* (SF). Peningkatan SF dapat memperluas jangkauan komunikasi, tetapi semakin tinggi nilai SF, kecepatan transmisi akan semakin berkurang [3]. Sehingga, pada praktiknya, pengguna Lora akan dihadapkan pada pilihan antara jarak atau kecepatan data. Selain itu, CSS dapat meningkatkan ketahanan sinyal terhadap *noise* selama proses transmisi [7]. Kemampuan Lora dari aspek jarak transmisi, daya, dan ketahanan terhadap *noise* seperti yang telah disebutkan sebelumnya membuat Lora digunakan dalam *Low Power Wide Area Network* (LPWAN).

Di Indonesia, frekuensi yang digunakan pada LPWAN diatur di dalam Peraturan Direktorat Jenderal Sumber

Daya dan Perangkat Pos dan Informatika Nomor 3 Tahun 2019 tentang Persyaratan Teknis Alat dan/atau Perangkat Telekomunikasi *Low Power Wide Area*. Berdasarkan peraturan tersebut, spektrum LoRa yang digunakan di Indonesia, yaitu pada frekuensi 880-960 MHz dan frekuensi 452,5-467,5MHz [8]. Pada penelitian yang dilakukan, frekuensi LoRa yang digunakan adalah 433 MHz dan 915 MHz. LoRa dengan frekuensi 433 MHz akan digunakan pada skenario pengujian pertama dan LoRa dengan frekuensi 915 MHz akan digunakan pada skenario pengujian kedua. Hasil pengujian dari penggunaan kedua frekuensi tersebut kemudian dibandingkan dan dianalisis.

Sebelum penelitian ini dilakukan, beberapa penelitian tentang pengujian LoRa pada frekuensi 433 MHz dan 915 MHz telah dilakukan, seperti pada penelitian [1], [2], dan [9]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Thaewa Tansarn dkk, LoRa diaplikasikan untuk bidang *smart farming* [1]. LoRa dengan frekuensi 915 MHz dan 433 MHz diuji pada kondisi *Non Line of Sight* (NLOS) dengan variasi jarak 100 sampai dengan 500 meter. Perbandingan kinerja kedua LoRa dilihat berdasarkan nilai *Receive Signal Strength Indicator* (RSSI) dan *Signal to Noise Ratio* (SNR). Dari pengujian yang dilakukan, LoRa dengan frekuensi 915 Mhz diketahui mampu menunjukkan hasil yang konstan berkaitan dengan hubungan antara RSSI dan jarak. Semakin jauh jarak antara *transmitter* dan *receiver*, semakin menurun nilai RSSI dan SNR yang didapatkan. Sedangkan LoRa 433 MHz tidak mampu dioperasikan pada jarak lebih dari 200 meter. Sehingga pada penelitian tersebut, hasil penelitian yang disimpulkan adalah LoRa dengan frekuensi 915 MHz lebih cocok untuk area dengan tingkat penghalang yang tinggi dibandingkan dengan LoRa dengan frekuensi 433 MHz. Pada penelitian yang dilakukan Arrief Rahman dan Muhammad Suryanegara, LoRa diterapkan pada prototipe pengukur suhu jarak jauh [2]. Prototipe terdiri dari sensor suhu, memori penyimpanan, pemrosesan data, dan visualisasi data menggunakan *Cloud Server* di *Web Browser*. LoRa diuji dalam kondisi, baik LOS maupun NLOS, daya transmit 14 dBm, serta variasi jarak pengujian dari 100 meter sampai dengan 700 meter. Kinerja LoRa kemudian diuji dan dilihat berdasarkan nilai RSSI dan *delay* yang dihasilkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa prototipe bekerja dengan baik pada kedua kondisi (LOS dan NLOS), sedangkan nilai RSSI bervariasi dari -50 dB hingga -105 dB. Penelitian ketiga terkait dengan LoRa adalah penelitian yang dilakukan oleh Fikri Achmadi [9]. LoRa diaplikasikan sebagai media transmisi dalam bidang *smart farming*. Prototipe *smart farming* yang dibuat di dalam penelitian tersebut terdiri dari sensor,

ESP32 DEVKIT V1 sebagai mikrokontroler, LoRa 915 MHz dan 433 MHz, memori penyimpanan, dan visualisasi data menggunakan *platform IoT Thingspeak*. LoRa dengan frekuensi 915 MHz dan 433 MHz diuji pada kondisi NLOS. Perbandingan kinerja kedua LoRa dilihat berdasarkan nilai RSSI. Dari pengujian yang dilakukan, hasil yang diperoleh adalah RSSI dipengaruhi oleh jarak dan halangan yang ada antara *node* dan *gateway*. Sehingga, semakin banyak halangan dan semakin jauh jarak antara *node* dan *gateway*, nilai RSSI juga semakin mengecil.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menguji kinerja LoRa 433 MHz dan 915 MHz dalam konteks smart farming [1], pengukuran suhu [2], dan lingkungan perkotaan [3]. Namun, aplikasi LoRa untuk pemantauan kondisi box ZP pada sistem axle counter kereta api belum pernah dilakukan. Penelitian ini mengisi gap tersebut dengan mengintegrasikan LoRa ke dalam sistem pemantauan kelembapan dan ketinggian air di box ZP, yang merupakan lingkungan unik dengan tantangan seperti interferensi sinyal dari logam dan kebutuhan reliabilitas tinggi. Selain itu, penelitian ini memperkenalkan kombinasi parameter kinerja (RSSI, packet loss, dan delay) yang belum sepenuhnya dieksplorasi dalam studi sebelumnya untuk aplikasi industri perkeretaapian.

Dari tiga penelitian yang telah dijelaskan, pengujian kinerja LoRa 433 MHz dan 915 MHz yang dilakukan di dalam penelitian ini memiliki beberapa perbedaan yang menjadi kontribusi tersendiri dari penelitian ini. Perbedaan tersebut adalah: 1) LoRa diaplikasikan sebagai media transmisi data pemantauan *box ZP*, yaitu elemen dari peralatan *axle counter*. Sehingga, pengaturan beberapa parameter seperti pemilihan kondisi LOS atau NLOS, serta jarak antara *transmitter* dan *receiver* bersifat khusus atau sesuai dengan kondisi di lapangan; 2) Beberapa parameter kinerja LoRa yang dibandingkan di dalam penelitian ini meliputi RSSI, *packet loss*, dan *delay*; 3) Alat yang dibuat terdiri dari sensor untuk mengukur kelembapan dan ketinggian air, ESP32 sebagai mikrokontroler, LoRa 915 MHz dan 433 MHz sebagai media transmisi data, dan visualisasi data menggunakan *platform IoT Thingspeak*; 4) Uji komparatif LoRa 433 MHz dan 915 MHz yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui frekuensi LoRa mana yang lebih cocok digunakan pada sistem pemantauan kelembapan dan ketinggian air di dalam *box ZP*. LoRa 433 MHz dan 915 MHz, yang akan dibandingkan di dalam penelitian ini, akan diterapkan pada alat pemantauan *box ZP*, yaitu elemen dari peralatan *axle counter*. Sistem penghitung gandar (*Axle Counter*) adalah salah satu subsistem persinyalan kereta api yang berfungsi sebagai pendeteksi gandar kereta. Melalui hasil deteksi *axle*

counter, kondisi suatu blok perlintasan dapat diketahui, apakah *clear* atau tidak [10]. Sistem *axle counter* terdiri dari beberapa peralatan. Berdasarkan letak peralatan, peralatan *axle counter* dibagi menjadi dua, yaitu peralatan *indoor* dan *outdoor*[11]. Peralatan *outdoor* terdiri dari *wheel sensor* dan *trackside connection box*. Sedangkan peralatan *indoor* adalah berupa *evaluator*.

Pada *axle counter* Altpro, *trackside connection box* dikenal juga dengan nama modul VUR. Untuk melindungi modul VUR dari pengaruh cuaca, modul VUR dilindungi oleh suatu *box* yang dikenal dengan nama *box ZP*. Di musim penghujan, air hujan sering masuk ke dalam *box ZP*. Hal tersebut menyebabkan kondisi di dalam *box ZP* menjadi lembap. Apabila air di dalam *box ZP* dibiarkan dan bertambah tinggi, air dapat merendam modul VUR dan menyebabkan kerusakan pada modul [12]. Kerusakan pada modul VUR dapat mengganggu operasional kereta api. Oleh karena itu, pengawasan terhadap kondisi *box ZP* perlu dilakukan untuk mencegah kerusakan modul VUR dan memastikan kelancaran operasional.

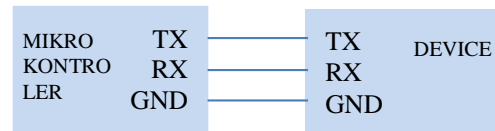
Pengawasan terhadap kondisi *box ZP* pernah dilakukan oleh Ardhia Adji F.R. pada penelitian yang berjudul “Sistem Monitoring Serta Kendali Pembuangan Air Dan Pengatur Kelembapan Pada Box ZP Berbasis Labview” [12]. Sistem *monitoring* yang dibuat di dalam penelitian tersebut terdiri dari sensor ultrasonik, DHT22, Arduino Uno R3, *water pump*, USB sebagai media transmisi data dari mikrokontroler ke LabView, dan LabView sebagai visualisasi data pemantauan. Penggunaan USB sebagai media transmisi di dalam penelitian tersebut membuat data yang dihasilkan oleh sistem tidak dapat diakses jarak jauh serta tidak dapat diakses kapan pun dan dimana pun. Hal itu menjadi keterbatasan dari penelitian tersebut. Sehingga, di dalam penelitian ini, alat pemantauan *box ZP* dengan penggunaan Lora dan penggunaan IoT dibuat agar data hasil pemantauan dapat dikirim jarak jauh, serta bisa diakses kapan pun dan dimana pun.

## 2 KAJIAN LITERATUR

### 2.1 Lora Ebyte E220

Lora Ebyte E220 adalah modul Lora yang diproduksi oleh Ebyte dan banyak digunakan dalam sistem yang menggunakan IoT. Modul ini menggunakan protokol komunikasi UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*), sehingga modul mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti Arduino, STM32, atau ESP32 [13]. LoRa Ebyte seri E200 memiliki 2 tipe pilihan dengan frekuensi yang berbeda, yaitu LoRa Ebyte E200-900T22D yang

beroperasi pada frekuensi 890~931MHz dan LoRa Ebyte E220-400T22D yang beroperasi pada frekuensi 410~441MHz. Beberapa fitur kunci dari Lora Ebyte E220 adalah: 1) Modul tersedia dalam pilihan frekuensi operasi pada 433 MHz, 868 MHz, dan 915 MHz; 2) Modul memiliki kinerja anti-interferensi yang baik; 3) Modul dapat mengirimkan data sampai dengan 5 km; 4) Penggunaan modul membutuhkan konsumsi daya yang rendah karena memiliki fitur *wake-on-air*.



Gambar 1. Protokol Komunikasi UART

1.1 LoRa dalam Lingkungan Industri Perkeretaapian  
LoRa telah terbukti efektif dalam aplikasi IoT industri karena konsumsi daya rendah dan jangkauan luas [4]. Namun, lingkungan perkeretaapian memiliki karakteristik khusus, seperti interferensi dari struktur logam dan dinamika sinyal akibat pergerakan kereta [5]. Studi oleh [6] menunjukkan bahwa frekuensi 915 MHz lebih stabil di lingkungan dengan penghalang logam, sementara 433 MHz rentan terhadap noise. Temuan ini relevan dengan pemantauan *box ZP*, yang terletak di dekat rel kereta.

### 1.2 Box ZP

*Box ZP* merupakan salah satu peralatan *axle counter* yang terletak di luar ruangan. *Box ZP* berfungsi sebagai pelindung modul VUR. Sinyal-sinyal yang diperoleh dari hasil pembacaan oleh *wheel sensor* akan dikumpulkan dan diolah oleh VUR [11]. Modul VUR kemudian mengirimkan data hasil pembacaan gandar ke *evaluator* yang terdapat di *equipment room* stasiun. Gambar 2 di bawah ini menunjukkan tampilan *box ZP* tampak atas. Pada Gambar 2, permukaan bawah dari *box ZP* terlihat terisi air. Sementara itu, di tengah *box ZP*, terdapat modul VUR berwarna kuning terang.



Gambar 2. *Box ZP* Tampak Atas

## 2.2 RSSI (Receive Signal Strength Indicator)

RSSI (Receive Signal Strength Indicator) adalah suatu parameter yang menjadi indikator kekuatan sinyal yang diterima. Standar kekuatan sinyal diatur oleh *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Network* (TIPHON). TIPHON dibentuk oleh badan standar ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) untuk melakukan penilaian parameter QoS (*Quality of Service*). Menurut TIPHON, kekuatan sinyal diklasifikasikan sebagai berikut [14]:

Tabel 1. Standar Kekuatan Sinyal Menurut TIPHON

Kategori	Kuat sinyal (dBm)
Sangat Bagus	> -70 dBm
Bagus	-70 dBm s/d -85dBm
Sedang	-86 dBm s/d -100 dBm
Jelek	-100 dBm

Persamaan yang digunakan dalam menghitung nilai RSSI adalah sebagai berikut [15]:

$$RSSI = -(10 \cdot n \cdot \log_{10}(d) \cdot A) = \frac{RSSI+A}{-10 \times n} \quad (1)$$

Dimana,  $n$  adalah propagasi sinyal konstan (nilai empiris),  $d$  adalah jarak dari pemancar (meter), dan  $A$  adalah kekuatan sinyal yang diterima sesuai jarak (dBm).

Propagasi sinyal konstan yang dimaksud di dalam persamaan (1) adalah kemampuan suatu medium yang dilalui sinyal pada saat proses transmisi dalam mempertahankan konsistensinya pada saat pengukuran sinyal dilakukan. Nilai empiris propagasi sinyal konstan akan berbeda untuk setiap lingkungan yang dilalui oleh sinyal. Tabel 2. menunjukkan nilai empiris berdasarkan kondisi lingkungan yang dilalui oleh sinyal [16].

Tabel 2. Nilai Empiris Propagasi Sinyal Konstan

Lingkungan	Propagasi sinyal konstan ( $n$ )
Ruang bebas	2
Radio seluler daerah perkotaan	2,7 – 3,5
Radio seluler perkotaan yang dibayangi	3 – 5
Bangunan yang saling berhadapan	1,6 – 1,8
Terhalang Gedung	4-6
Terhalang Pabrik	2-3

## 2.3 Packet Loss

Packet loss adalah persentase jumlah paket yang hilang selama proses transmisi terhadap jumlah keseluruhan paket yang dikirim. Packet loss disebabkan oleh banyak faktor seperti penurunan sinyal dalam media jaringan, kesalahan perangkat

keras jaringan, atau akibat kondisi di lingkungan sekitar. Packet loss yang disebabkan oleh lingkungan sekitar dapat terjadi akibat adanya sinyal yang mengalami pantulan, pembelokan, dan penghamburan akibat banyaknya jalur yang dilalui oleh sinyal. Packet loss berpengaruh terhadap penggunaan data karena pengiriman ulang akan mengurangi efisiensi dalam proses transmisi data secara keseluruhan. Parameter Packet loss pada penelitian ini dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Packet\ loss = \frac{(paket\ dikirim - paket\ diterima)}{total\ paket\ dikirim} \times 100\% \quad (2)$$

## 2.4 Delay

Delay adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan paket dari pengirim ke penerima. Standar delay menurut ITU-T G1010 ditunjukkan pada Tabel 3 [17].

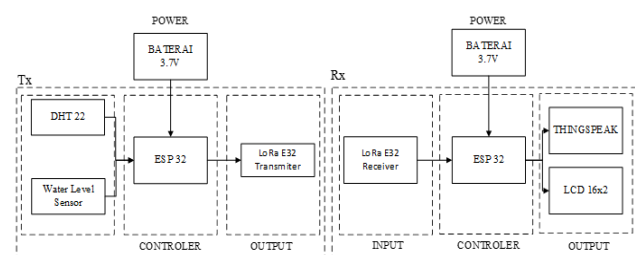
Tabel 3. Standar Delay

Kategori	Besar delay (ms)
Sangat Bagus	< 150 ms
Bagus	150 ms s.d. 300 ms
Jelek	300 ms s.d. 450 ms
Sangat Jelek	>450 ms

# 3 METODE PENELITIAN

## 3.1 Diagram Blok Sistem

Gambar 3 di bawah ini menunjukkan diagram blok dari sistem pemantauan kondisi box ZP dengan menggunakan, baik Lora berfrekuensi 433 MHz dan Lora berfrekuensi 915 MHz.



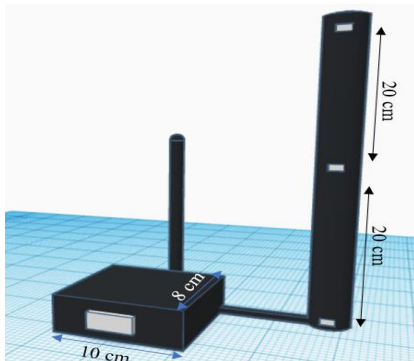
Gambar 3. Diagram Blok Sistem Pemantauan Box ZP

Data masukan untuk mikrokontroler terdiri dari data mengenai nilai kelembapan pada box ZP yang didapatkan dari sensor DHT 22, dan ketinggian air yang diukur oleh rangkaian water level. Data tersebut diproses oleh ESP 32 Devkit untuk selanjutnya dikirimkan melalui LoRa E220 menuju rangkaian receiver. LoRa E220 receiver akan meneruskan data yang diterima menuju ESP32 untuk diunggah dan ditampilkan pada layanan cloud thingspeak dan LCD. Thingspeak akan menampilkan data berupa tingkat kelembapan, ketinggian air, dan kuat sinyal pada

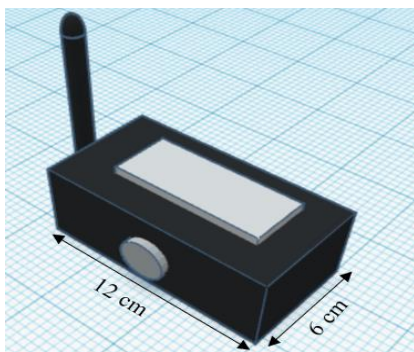
layar. Data hasil pengukuran akan diunggah ke *platform thingspeak* setiap 5 menit sekali dalam bentuk grafik.

### 3.2 Desain Alat

Desain alat yang dilakukan di dalam penelitian ini terdiri dari desain kotak pelindung rangkaian *transmitter* dan *receiver*. Desain kotak pelindung rangkaian *transmitter* ditunjukkan pada Gambar 4. Sedangkan desain kotak pelindung rangkaian *receiver* ditunjukkan oleh Gambar 5.



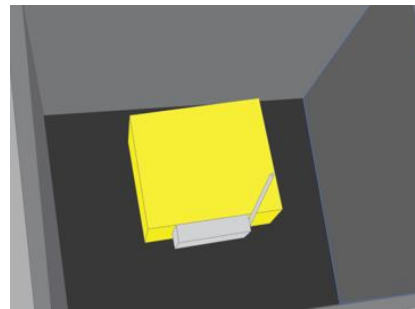
Gambar 4. Desain Kotak Pelindung Rangkaian *Transmitter*



Gambar 5. Desain Kotak Pelindung Rangkaian *Receiver*

Pada Gambar 4, penyangga rangkaian *water level* pada rangkaian *transmitter* terbuat dari pipa paralon yang dilubangi sebesar 0,5 cm sebagai tempat masuk kabel. Kabel-kabel yang terhubung menuju ESP32 dipasangkan plat alumunium sebesar 1cm x 3 cm untuk memperbesar daya hantar di dalam air. Selain itu, bahan alumunium dipilih dengan tujuan agar plat tidak mudah berkarat.

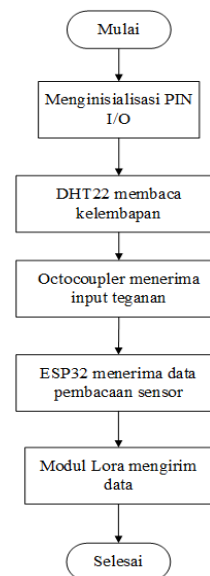
*Transmitter* yang dibuat diletakkan dengan posisi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. *Transmitter* diletakkan pada bagian atas dari *VUR box* sedangkan sensor *water level* dipasangkan pada bagian bawah *VUR box*. Pemasangan sensor *water level* dilakukan dengan menggunakan klem agar dapat terhubung dengan penyangga modul *VUR*. Bagian antara rangkaian *water level* dan rangkaian *transmitter* dihubungkan dengan kabel sepanjang 30 cm.



Gambar 6. Penempatan *Transmitter*

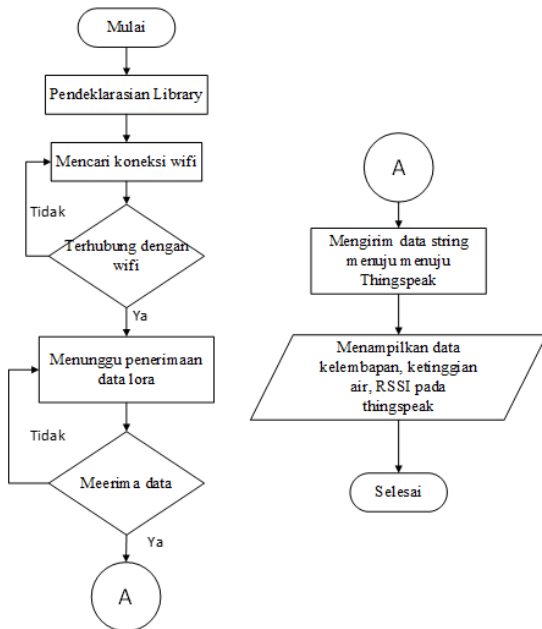
### 3.3 Prinsip Kerja Alat

Prinsip kerja alat *transmitter* digambarkan melalui diagram alir pada Gambar 7. Kerja alat diawali dengan inisialisasi terhadap komponen-komponen yang akan digunakan seperti sensor dan modul *Lora*. Setelah dilakukan inisialisasi, ESP 32 akan menerima masukan berupa data dari sensor *DHT22* dan pembacaan masukan melalui *optocoupler* pada pin ESP 32. Selanjutnya, data yang diperoleh dikirim menuju rangkaian *receiver*.



Gambar 7. Diagram Alir Prinsip Kerja *Transmitter*

Prinsip kerja alat *receiver* digambarkan melalui diagram alir pada Gambar 8. Proses diawali dengan pendeklarasian *library* dan pencarian koneksi *Wi-Fi*. Apabila alat telah terhubung dengan *Wi-Fi*, *LCD* akan menampilkan tulisan “*Wifi connected*” dan bersiap menampilkan data ketinggian air. Apabila data yang dikirim oleh *transmitter* diterima, ESP32 akan mengolah data terima yang bertipe *string* waktu dan menampilkannya pada *LCD*, serta mengirimkan data tersebut ke *platform thingspeak* bersamaan dengan data *RSSI*, kelembapan, dan kondisi ketinggian air.



Gambar 8. Diagram Alir Prinsip Kerja Receiver

### 3.4 Metode Pengujian

Skenario pengujian alat yang dilakukan di dalam penelitian ini dibagi menjadi dua skenario. Skenario pertama adalah pengujian fungsi sensor-sensor yang digunakan. Skenario kedua adalah pengujian komparatif kinerja dua modul komunikasi Lora yang digunakan.

Uji fungsi sensor kelembapan dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan thermohyrometer. Berdasarkan perbandingan tersebut, nilai *error* dan akurasi sensor dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [18]:

$$Error = \frac{Hasil\ Pengukuran - Nilai\ Acuan}{Nilai\ acuan} \times 100\% \quad (3)$$

$$Nilai\ Akurasi = 100\% - Error \quad (4)$$

Sedangkan uji fungsi sensor *water level* dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan hasil pengukuran yang dilakukan dengan penggunaan mistar.

Kinerja Lora dengan frekuensi 433 MHz dan 915 MHz yang digunakan pada alat pemantauan kondisi *box ZP* diuji dengan skenario sebagai berikut:

- a. Pengujian parameter RSSI dilakukan dengan meletakkan *transmitter* pada variasi jarak sebesar 158 meter, 284 meter, 483 meter, dan 842 meter dari *receive*, yang diletakkan di ruang *equipment room* stasiun. Variasi jarak tersebut dipilih karena beberapa *box ZP* terletak pada jarak tersebut.
- b. Pengujian *packet loss* dilakukan dengan mengirimkan 100 data. Dari data yang dikirimkan, nilai *packet loss* dihitung berdasarkan jumlah data

yang diterima dibandingkan dengan total data yang dikirimkan. Setiap data yang dikirim memiliki nomor yang berurutan untuk mempermudah proses pencocokan data antara *receiver* dan *transmitter*.

- c. Pengujian *delay* dilakukan dengan melihat lamanya waktu yang dibutuhkan dalam melakukan pengiriman data dari *transmitter* ke *receiver*. Pengujian dilakukan pada 4 lokasi dengan jarak yang berbeda.

## 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengujian Fungsi Sensor DHT22

Tabel 4 di bawah ini adalah hasil pengujian fungsi sensor DHT22 dengan alat ukur thermohyrometer. Berdasarkan data hasil pengujian, rata-rata persentase *error* dari uji perbandingan adalah sebesar 10,01%. Dari nilai *error* tersebut, nilai akurasi sensor dapat diketahui dengan mengikuti persamaan 4. Nilai akurasi sensor yang didapatkan bernilai 89,99%.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kelembapan Sensor DHT22

Perco baan Ke	Hasil pengukuran DHT22 (%)	Hasil pengukuran thermohygro meter (%)	Selisih (%)	<i>Error</i> (%)
1	60.20	67	6.80	10,15%
2	60.20	67	6.80	10,15%
3	60.40	67	6.40	9,85%
4	60.30	67	6.70	10%
5	60.30	67	6.70	10%
6	60.30	67	6.70	10%
7	60.30	67	6.70	10%
8	60.30	67	6.70	10%
9	60.30	67	6.70	10%
10	60.30	67	6.70	10%
<b>Rata Rata Persentase <i>Error</i> %</b>				<b>10,01%</b>

### 4.2 Hasil Pengujian Sensor *Water Level*

Pada pengujian ini, alat diuji pada tiga kondisi, yaitu kondisi tidak ada air, level air rendah (1 cm sampai dengan 20 cm), level air sedang (21 sampai dengan 35 cm), dan level air tinggi (lebih dari 35 cm). Total pengujian yang dilakukan yaitu sebanyak 10 kali. Hasil dari pengujian sensor *water level* yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sensor *Water Level*

Nilai ketinggian air di mistar (cm)	Kategori level air acuan	Kategori level air yang terbaca oleh sensor	<i>Error</i> (%)
0	Tidak ada air	Tidak ada air	0
4	Rendah	Rendah	0
10	Rendah	Rendah	0

12	Rendah	Rendah	0
18	Rendah	Rendah	0
25	Sedang	Sedang	0
33	Sedang	Sedang	0
38	Tinggi	Tinggi	0
40	Tinggi	Tinggi	0
45	Tinggi	Tinggi	0
<b>Rata-rata Persentase Error %</b>			<b>0</b>

Berdasarkan hasil pengujian sensor *water level* yang dilakukan, nilai rata-rata *error* yang diperoleh dari 10 kali percobaan adalah sebesar 0%. Hal ini mengindikasikan bahwa sensor bekerja dengan baik.

#### 4.3 Hasil Pengujian Komparatif Lora dengan Frekuensi 433 MHz dan 915 MHz Berdasarkan Parameter RSSI

Pada pengujian ini, *transmitter* diletakkan di empat *box ZP* yang dekat dengan stasiun secara bergantian. Sementara itu, *receiver* diletakkan di *equipment room* stasiun. Hasil pengujian parameter RSSI ditunjukkan pada Tabel 6,7,8,dan 9 di bawah ini.

Tabel 6. Pengujian RSSI pada Jarak 158 meter

Pengujian ke	Lora 433MHz	Lora 915MHz
1	-53 dBm	-55 dBm
2	-51 dBm	-74 dBm
3	-51 dBm	-69 dBm
4	-49 dBm	-71 dBm
5	-48 dBm	-62 dBm
6	-48 dBm	-66 dBm
7	-48 dBm	-77 dBm
8	-47 dBm	-69 dBm
9	-53 dBm	-55 dBm
10	-51 dBm	-74 dBm
Rata-rata	-49,375 dBm	-67,875 dBm

Pada Tabel 6 di atas, nilai RSSI yang dihasilkan oleh LoRa 433 MHz selama proses pengiriman data berada pada angka -53 dBm hingga -43 dBm dengan nilai rata-rata RSSI pada -49,3 dBm. Sedangkan LoRa 915 MHz menghasilkan rentang nilai dari -77 dBm hingga -55 dBm dengan nilai rata-rata -67,8 dBm.

Tabel 7. Pengujian RSSI pada Jarak 284 meter

Pengujian ke	Lora 433MHz	Lora 915MHz
1	-65 dBm	-69 dBm
2	-62 dBm	-69 dBm
3	-62 dBm	-69 dBm
4	-63 dBm	-69 dBm
5	-64 dBm	-68 dBm
6	-63 dBm	-68 dBm
7	-67 dBm	-70 dBm
8	-65 dBm	-70 dBm
9	-65 dBm	-69 dBm

10	-62 dBm	-69 dBm
Rata-rata	-63,8 dBm	-69 dBm

Pada Tabel 7 di atas, nilai RSSI yang dihasilkan oleh LoRa 433 MHz selama proses pengiriman data berada pada angka -70 dBm hingga -68 dBm dengan nilai rata-rata RSSI pada -69 dBm. Sedangkan LoRa 915 MHz menghasilkan rentang nilai dari -67 dBm hingga -62 dBm dengan nilai rata-rata -63,6 dBm.

Tabel 8. Pengujian RSSI pada Jarak 483 meter

Pengujian ke	Lora 433MHz	Lora 915MHz
1	-66 dBm	-77 dBm
2	-67 dBm	-77 dBm
3	-62 dBm	-77 dBm
4	-68 dBm	-79 dBm
5	-67 dBm	-75 dBm
6	-69 dBm	-75 dBm
7	-70 dBm	-73 dBm
8	-70 dBm	-77 dBm
9	-66 dBm	-77 dBm
10	-67 dBm	-77 dBm
Rata-rata	-67,375 dBm	-76,25 dBm

Pada Tabel 8 di atas, nilai RSSI yang dihasilkan oleh LoRa 433 MHz selama proses pengiriman data berada pada angka -70 dBm hingga -62 dBm dengan nilai rata-rata RSSI pada -67,3 dBm. Pada LoRa 915 MHz menghasilkan rentang nilai dari -77 dBm hingga -73 dBm dengan nilai rata-rata -76,25 dBm.

Tabel 9. Pengujian RSSI pada Jarak 842 meter

Pengujian ke	Lora 433MHz	Lora 915MHz
1	-75 dBm	-81 dBm
2	-74 dBm	-81 dBm
3	-68 dBm	-82 dBm
4	-68 dBm	-85 dBm
5	-68 dBm	-80 dBm
6	-68 dBm	-80 dBm
7	-75 dBm	-84 dBm
8	-68 dBm	-85 dBm
9	-75 dBm	-81 dBm
10	-74 dBm	-81 dBm
Rata-rata	-70,5 dBm	-82,25 dBm

Pada Tabel 9 di atas, nilai RSSI yang dihasilkan oleh LoRa 433 MHz selama proses pengiriman data berada pada angka -75 dBm hingga -68 dBm dengan nilai rata-rata RSSI pada -70,5 dBm. Pada LoRa 915 MHz menghasilkan rentang nilai dari -81 dBm hingga -80 dBm dengan nilai rata-rata -82,2 dBm. Berdasarkan empat tabel di atas, informasi yang dapat diambil dari pengujian komparatif antara Lora 433 MHz dan Lora 915 MHz adalah Lora 433 MHz memiliki nilai RSSI lebih baik pada empat variasi jarak yang diberikan dibandingkan dengan Lora 915 MHz.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa LoRa 433 MHz memiliki nilai RSSI lebih baik dibandingkan 915 MHz, tetapi mengalami packet loss lebih tinggi. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh studi [4], yang menyatakan bahwa frekuensi rendah (433 MHz) memiliki penetrasi sinyal lebih baik tetapi rentan terhadap multipath fading di lingkungan dengan penghalang logam. Sebaliknya, LoRa 915 MHz lebih stabil dalam pengiriman data (packet loss rendah) karena bandwidth lebih lebar dan adaptasi yang lebih baik terhadap interferensi [7]. Implikasi praktisnya, pemilihan frekuensi harus mempertimbangkan trade-off antara kekuatan sinyal (RSSI) dan reliabilitas (packet loss).

#### 4.4 Hasil Pengujian Komparatif Lora dengan Frekuensi 433 MHz dan 915 MHz Berdasarkan Parameter *Packet Loss*

Pengujian *packet loss* dilakukan sebanyak lima kali untuk masing-masing lokasi *box ZP*. Seperti yang diketahui sebelumnya, terdapat empat *box ZP* yang terletak pada lokasi berbeda yang menjadi tempat pengujian alat. Hasil pengujian *packet loss* dari empat *box ZP* secara bergantian ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Pengujian *Packet loss*

Jarak Lora Tx ke Rx	Pengujian ke	Jumlah data yang hilang	
		Lora 433 MHz	Lora 915 MHz
158 meter	1	0	0
	2	0	0
	3	0	0
	4	0	0
	5	0	0
	Paket hilang (%)	0%	0%
284 meter	1	1	0
	2	2	0
	3	3	0
	4	3	0
	5	2	1
	Paket hilang (%)	3,3%	0,2%
483 meter	1	8	0
	2	6	2
	3	8	2
	4	14	0
	5	12	1
	Paket hilang (%)	9,6%	1%
842 meter	1	52	5
	2	32	6
	3	27	3
	4	54	4
	5	71	5
	Paket hilang (%)	47,2%	4,6%

Melihat dari Tabel 10 di atas, pada jarak 158 meter, paket berhasil diterima 100%, baik dengan penggunaan Lora 433 MHz maupun 915 MHz. Namun, pada jarak 284 meter, pengiriman paket mulai terganggu sebanyak 3,3% untuk penggunaan LoRa 433 MHz dan sebanyak 0,2% untuk penggunaan LoRa 915 MHz. Pada jarak 483 meter, jumlah paket yang hilang meningkat yaitu sebanyak 9,6% untuk penggunaan LoRa 433 MHz dan 1% untuk penggunaan LoRa 915 MHz. Sedangkan pada jarak 842 meter, sebanyak 47,2% paket hilang pada penggunaan LoRa 433 MHz dan 4,6% pada penggunaan LoRa 915 MHz. Berdasarkan hasil pengujian *packet loss* yang dilakukan pada empat *box ZP*, LoRa 915 MHz memiliki kinerja pengiriman data yang lebih baik daripada LoRa 433 MHz.

#### 4.5 Hasil Pengujian Komparatif Lora dengan Frekuensi 433 MHz dan 915 MHz Berdasarkan Parameter *Delay*

Pengukuran *delay* dilakukan dengan mengirim 10 data dari rangkaian *transmitter* menuju rangkaian *receiver* untuk kemudian dibandingkan. Pengujian dilakukan pada 4 lokasi dengan jarak yang berbeda. Hasil pengujian *delay* ditunjukkan oleh beberapa tabel berikut.

Tabel 11. Hasil Pengujian *Delay* Pada Jarak 157 meter

Pengujian ke	433 MHz	915 MHz
1	682 ms	709 ms
2	678 ms	659 ms
3	704 ms	687 ms
4	729 ms	698 ms
5	680 ms	730 ms
6	741 ms	655 ms
7	679 ms	678 ms
8	728 ms	655 ms
9	661 ms	721 ms
10	701 ms	713 ms
Rata-rata	698,3 ms	690,5 ms

Pada jarak 157 meter, lama waktu pengiriman data oleh LoRa 433 MHz berada pada 661 ms hingga 741ms dengan nilai rata rata *delay* berada pada 698 ms. Sedangkan LoRa 915 menghasilkan rentang nilai dari 655 ms hingga 730 ms dengan nilai rata-rata berada pada angka 690,5 ms.

Tabel 12. Hasil Pengujian *Delay* Pada Jarak 284 meter

Pengujian ke	433 MHz	915 MHz
1	773 ms	744 ms
2	738 ms	743 ms
3	773 ms	762 ms
4	740 ms	772 ms
5	715 ms	722 ms
6	734 ms	723 ms

Pengujian ke	433 MHz	915 MHz
7	723 ms	715 ms
8	754 ms	732 ms
9	763 ms	743 ms
10	757 ms	746 ms
Rata-rata	747,0 ms	740,2 ms

Pada jarak 284 meter, lama waktu pengiriman data oleh LoRa 433 MHz berada pada 715 ms hingga 773 ms dengan nilai rata rata *delay* berada pada 747 ms. Sementara itu, LoRa 915 MHz menghasilkan rentang nilai dari 715 ms hingga 772 ms dengan nilai rata-rata berada pada angka 740,2 ms.

Tabel 13. Hasil Pengujian *Delay* Pada Jarak 467 meter

Pengujian ke	433MHz	915MHz
1	748 ms	720 ms
2	746 ms	749 ms
3	755 ms	736 ms
4	727 ms	750 ms
5	797 ms	773 ms
6	777 ms	753 ms
7	760 ms	761 ms
8	753 ms	749 ms
9	799 ms	751 ms
10	766 ms	761 ms
Rata-rata	762,8 ms	750,3 ms

Pada jarak 467 meter, lama waktu pengiriman data oleh LoRa 433 MHz berada pada 727 ms hingga 799 ms dengan nilai rata rata *delay* berada pada 762 ms. Sementara itu, LoRa 915 MHz menghasilkan rentang nilai dari 720 ms hingga 773 ms dengan nilai rata-rata berada pada angka 750 ms.

Tabel 14. Hasil Pengujian *Delay* Pada Jarak 842 meter

Pengujian ke	433MHz	915MHz
1	928 ms	908 ms
2	925 ms	916 ms
3	931 ms	921 ms
4	925 ms	911 ms
5	922 ms	914 ms
6	924 ms	919 ms
7	920 ms	921 ms
8	923 ms	913 ms
9	937 ms	923 ms
10dz	929 ms	920 ms
Rata-rata	926,4 ms	916,6 ms

Pada jarak 842 meter, lama waktu pengiriman data oleh LoRa 433 MHz berada pada 920 ms hingga 937 ms dengan nilai rata rata *delay* berada pada 926,4 ms. Sementara itu, LoRa 915 MHz menghasilkan rentang nilai dari 908 ms hingga 921 ms dengan nilai rata-rata berada pada angka 916,6 ms. Berdasarkan hasil pengujian *delay* yang dilakukan pada empat *box ZP*, LoRa 915 MHz memiliki kinerja pengiriman data

yang lebih baik daripada LoRa 433 MHz. Perbedaan *delay* antara LoRa 433 MHz dan 915 MHz signifikan secara statistik ( $p < 0.05$  berdasarkan uji t-test), mendukung temuan [14] bahwa frekuensi tinggi mengurangi *latency* dalam transmisi data jarak menengah.

## 5 KESIMPULAN

LoRa 433 MHz unggul dalam parameter RSSI, cocok untuk aplikasi yang memprioritaskan kekuatan sinyal. LoRa 915 MHz lebih baik dalam hal *packet loss* dan *delay*, ideal untuk sistem kritis seperti pemantauan *box ZP*. Keterbatasan penelitian mencakup pengujian yang hanya dilakukan di satu lokasi geografis dan tanpa variasi cuaca ekstrem. Studi mendatang dapat menguji kinerja LoRa di lingkungan dengan hujan lebat atau interferensi elektromagnetik tinggi [10].

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun atas dukungan yang telah diberikan sehingga penelitian ini berjalan dengan lancar. Tidak lupa, kami juga ingin menyampaikan terima kasih kepada Jurnal Perkeretaapian Indonesia yang membantu dalam mempublikasikan hasil penelitian sehingga dapat tersampaikan kepada publik. Semoga hasil dari kegiatan ini dapat membawa manfaat.

## REFERENSI

- [1] T. Tansarn, P. Phasukkit, and R. Khaemphukieo, "Comparison of LoRa 915 MHz and 433 MHz on Distance Coverage in Thailand Area," pp. 1–4, 2019.
- [2] A. Rahman and M. Suryanegara, "The development of IoT LoRa: A Performance Evaluation on LoS and Non-LoS Environment at 915 MHz ISM Frequency," *Proc. - Int. Conf. Signals Syst. ICSigSys 2017*, pp. 163–167, 2017, doi: 10.1109/ICSIGSYS.2017.7967033.
- [3] M. M. Kurniawan, K. Amron, and R. A. Siregar, "Analisis Karakteristik Transmisi LoRa pada Wilayah Perkotaan," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 6, no. 8, pp. 3977–3986, 2022.
- [4] R. Suta Adji and H. Nurwasito, "Pengembangan Sistem Pengiriman Data Menggunakan LoRa Multipoint Menggunakan Simple LoRa Protokol sebagai Kontrol Kebakaran Kandang Ayam," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu ...*, vol. 6, no. 4, pp. 2548–964, 2022.

- [5] T. Darmana, T. J. Pramono, and M. N. Qosim, "Analisa Rugi-Rugi Saluran Transmisi (Link Budget Analysis) LoRa pada Gedung Bertingkat," Laporan Penelitian, Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN, Jakarta, 2021.
- [6] H. Azwar, Muhammmad Diono, and Rizadi Sasmita Darwis, "Sistem Telemetri Nirkabel Menggunakan Long Range (LoRa) untuk Deteksi Dini Kebakaran Hutan," *J. Elektro dan Mesin Terap.*, vol. 9, no. 1, pp. 103–112, 2023.
- [7] H. H. Hadhiansah, K. Amron, and R. A. Siregar, "Analisis Karakteristik Transmisi LORA dalam Ruangan," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 7, no. 4, pp. 2054–2062, 2023.
- [8] Kementerian Komunikasi dan Informatika, "Peraturan Direktur Jenderal Sumber Daya Dan Perangkat Pos Dan Informatika Nomor 3 Tahun 2019 Tentang Persyaratan Teknis Alat Dan/ Atau Perangkat Telekomunikasi Low Power Wide Area," 2019, Direktur Jenderal Sumber Daya Perangkat Pos dan Informatika, Jakarta.
- [9] A. Fikri, "Pengujian unjuk kerja transmisi data lora 433 MHz dan 915 MHz non line of sight (nlos)," pp. 1–67, Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2022.
- [10] B. N. Fatkhan, M. Ramdhani, and A. Sugiana, "Sistem Deteksi Keberadaan Kereta Api Menggunakan Induksi Magnetik," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 1011–1020, 2021.
- [11] M. Rosyidi and D. Budhi Santoso, "Analisis Gangguan Sistem Axle Counter Dalam Jaringan Rel Kereta Di Pt Kai (Persero) Resort Sintel 1.16 Karawang Daop 1 Jakarta," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 7, no. 2, pp. 1317–1321, 2023.
- [12] Ardhia Adji Frescilia Rantung, "Sistem Monitoring Serta Kendali Pembuangan Air Dan Pengatur Kelembapan Pada Box Zp Berbasis Labview," Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun, 2023.
- [13] M. N. Al Huda, "Penerapan Wireless Sensor Network (WSN) untuk Monitoring Daya Lampu Penerangan Jalan Umum (LPJU) Menggunakan Thingspeak," 2023.
- [14] A. Maulana and W. Sulisty, "Analisis Kualitas Signal Wireless Menggunakan Received Signal Strength Indicator (Rssi) Di Smp Negeri 10 Salatiga," *IT-Explore J. Penerapan Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 3, no. 1, pp. 63–78, 2024.
- [15] B. R. Rahmadya, "Indoor Positioning System (IPS) Berdasarkan Kekuatan Received Signal Strength Indicator (RSSI)," *J. Inf. Technol. Comput. Eng.*, vol. 2, no. 01, pp. 27–33, 2018.
- [16] A. Zafia, Y. A. Setyoko, and A. D. N. Utomo, "Implementasi Sensor Jaga Jarak Dalam Membantu Pencegahan Penularan Covid-19," *LEDGER J. Inform. Inf. Technol.*, vol. 1, no. 3, pp. 150–160, 2022.
- [17] M. Hasbi and N. R. Saputra, "Analisis Quality of Service ( Qos ) Jaringan Internet Kantor Pusat King Bukopin Dengan Menggunakan Wireshark," *Univ. Muhammadiyah Jakarta*, vol. 12, no. 1, pp. 1–7, 2021.
- [18] A. I. Irawan, R. Patmasari, and M. R. Hidayat, "Peningkatan Kinerja Sensor DS18B20 pada Sistem IoT Monitoring Suhu Kolam Ikan," *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, vol. 5, no. 1, p. 101, 2020.
- [19] ITU-R Report, "Propagation Models for Railway Environments," 2021.