

Sistem Remote Monitoring Posisi Kendaraan Menggunakan Jaringan Nirkabel Berbasis LoRa

Nurliska¹, Michael Ardita², Sotyohadi³

Teknik Elektro S-1, Institut Teknologi Nasional, Malang Indonesia

1sitohangnurliska@gmail.com, 2michael.ardita.@lecturer.itn.ac.id, 3sotyohadi@lectureritn.ac.id

Abstrak— Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah mendorong inovasi dalam sistem pemantauan jarak jauh, salah satunya adalah sistem pelacakan posisi kendaraan secara real-time. Sistem pelacakan konvensional yang mengandalkan jaringan seluler memiliki beberapa kelemahan, seperti biaya operasional yang tinggi serta keterbatasan sinyal di daerah terpencil. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring posisi kendaraan menggunakan kombinasi modul GPS NEO-6M, dan komunikasi LoRa E220-900T22D, dengan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 sebagai unit pemroses data. Sistem ini dirancang untuk mengirimkan data koordinat kendaraan secara periodik melalui jaringan LoRa ke server yang terhubung ke antarmuka web berbasis IoT. Data lokasi kemudian dapat diakses pengguna secara real-time melalui perangkat klien seperti komputer atau smartphone. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu berfungsi dengan baik, dengan rata-rata nilai RSSI sebesar $-94,58$ dBm, error relatif alat sebesar $0,23\%$, dan nilai HDOP sebesar $100,73$. Keunggulan sistem ini terletak pada efisiensi daya, biaya rendah, serta jangkauan transmisi yang luas. Sistem sangat cocok digunakan di daerah yang tidak terjangkau jaringan seluler dan dapat dikembangkan lebih lanjut.

Kata Kunci: Lora, GPS, NodeMCU Esp8266

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi dalam dua dekade terakhir telah mendorong terciptanya berbagai inovasi di berbagai sektor, termasuk dalam sistem pemantauan dan pengawasan jarak jauh. Salah satu inovasi penting yang muncul dari perkembangan ini adalah konsep Internet of Things (IoT), yaitu sistem yang memungkinkan perangkat fisik saling terhubung dan bertukar data melalui jaringan internet [1]. Salah satu penerapan nyata dari IoT adalah sistem pelacakan posisi kendaraan secara langsung (real-time), yang kini menjadi kebutuhan krusial dalam sektor transportasi, logistik, dan manajemen armada perusahaan [2].

Sistem pelacakan kendaraan berfungsi untuk menentukan posisi secara akurat serta memberikan informasi terkait arah pergerakan dan kecepatan kendaraan. Sistem ini dapat meningkatkan keamanan kendaraan, efisiensi distribusi barang, dan mendukung pengambilan keputusan dalam manajemen operasional. Namun, sistem pelacakan konvensional yang berbasis jaringan seluler (seperti GSM, 3G, dan 4G/LTE) memiliki beberapa kendala, seperti biaya operasional yang tinggi karena penggunaan kartu SIM dan paket data internet, serta keterbatasan sinyal di daerah terpencil [3], [4].

Sebagai solusi, teknologi *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) menjadi alternatif yang menjanjikan, salah satunya adalah teknologi LoRa (*Long Range*). LoRa merupakan protokol komunikasi nirkabel yang dirancang untuk transmisi data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. Teknologi ini mampu menjangkau radius lebih dari 10 km pada area terbuka dan tetap berfungsi pada kondisi geografis menantang seperti perbukitan dan hutan [5]. Di Indonesia, LoRa diizinkan beroperasi pada pita frekuensi $920-923$ MHz [6], yang mendukung penggunaannya dalam berbagai aplikasi IoT.

Untuk mendukung sistem pelacakan, LoRa dapat dikombinasikan dengan modul GPS (*Global Positioning System*), yang mampu memberikan informasi lokasi secara akurat dalam bentuk koordinat lintang dan bujur, arah, serta kecepatan objek [3], [7]. Data lokasi yang diperoleh dari GPS dikirim melalui LoRa ke pusat pemantauan dan ditampilkan dalam antarmuka web berbasis IoT, sehingga memungkinkan pemantauan kendaraan secara real-time tanpa bergantung pada jaringan internet.

Sistem pelacakan berbasis GPS dan LoRa memiliki keunggulan dari sisi efisiensi energi, jangkauan luas, dan biaya operasional rendah [8]. Hal ini menjadikannya solusi ideal untuk kendaraan operasional di wilayah pedesaan, perkebunan, atau daerah terpencil yang minim akses jaringan seluler.

Penelitian ini bertujuan untuk masalah mengetahui posisi kendaraan secara *real time* dengan menggunakan GPS dan LoRa sehingga memberikan data lokasi dan koordinat.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem monitoring posisi kendaraan secara real-time menggunakan teknologi komunikasi LoRa?
2. Bagaimana mengintegrasikan modul GPS dan LoRa untuk mengirimkan data lokasi secara efisien dan akurat?
3. Bagaimana jangkauan serta keandalan komunikasi data menggunakan jaringan LoRa dalam sistem pemantauan posisi kendaraan, khususnya di wilayah dengan keterbatasan jaringan seluler?
4. Bagaimana kinerja sistem dari aspek konsumsi daya, kecepatan transmisi data, dan ketelitian informasi lokasi yang dikirimkan?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Merancang sistem monitoring posisi kendaraan secara real-time dengan memanfaatkan teknologi komunikasi LoRa.
2. Mengintegrasikan modul GPS dan LoRa agar mampu mengirimkan data lokasi secara efisien dan akurat ke pusat pemantauan.
3. Menganalisis jangkauan dan keandalan komunikasi data menggunakan jaringan LoRa, terutama pada wilayah yang memiliki keterbatasan jaringan seluler.
4. Mengevaluasi kinerja sistem dari kecepatan transmisi, dan akurasi informasi lokasi yang dikirimkan.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. LoRa

LoRa (Long Range) merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang menggunakan teknik modulasi *Chirp Spread Spectrum* (CSS), turunan dari modulasi frekuensi (FM). Teknologi ini dirancang untuk mendukung komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah, sehingga ideal digunakan dalam aplikasi *Internet of Things* (IoT) [9].

Sistem LoRa terdiri dari dua komponen utama, yaitu transceiver LoRa RF dan gateway LoRa. Kombinasi keduanya membentuk jaringan komunikasi berdaya jangkauan luas dan mampu menghubungkan jutaan perangkat [10]. Frekuensi kerja LoRa berbeda-beda tergantung wilayah: 433 MHz (Asia), 868 MHz (Eropa), dan 915 MHz (Amerika Utara) [11].

LoRa termasuk dalam kategori *Low Power Wide Area* (LPWA) non-seluler, yaitu sistem komunikasi nirkabel dengan konsumsi daya rendah yang menggunakan spektrum frekuensi tanpa lisensi (*unlicensed band*). Di Indonesia, LoRa beroperasi pada rentang frekuensi 920–923 MHz sesuai regulasi Kementerian Komunikasi dan Informatika [12].

Beberapa fitur utama teknologi LoRa antara lain:

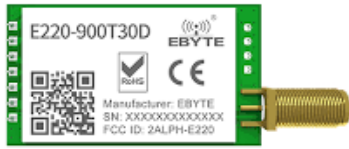
1. Geolocation: Mendukung penentuan lokasi perangkat tanpa memerlukan modul GPS tambahan.
2. Long Battery Life: Konsumsi daya rendah (~10,3 mA) memungkinkan masa pakai baterai hingga 10–20 tahun.
3. Long Range: Mampu menjangkau hingga 2 km dalam kondisi ideal.
4. High Capacity: Mendukung pengiriman jutaan pesan per *base station*, cocok untuk jaringan publik skala besar.
5. Security: Menggunakan enkripsi AES 128-bit untuk menjamin keamanan data saat transmisi.

LoRa diklasifikasikan sebagai perangkat LPWA non-seluler yang beroperasi di luar jaringan seluler dan memanfaatkan pita frekuensi radio tertentu. Tabel 1 menunjukkan rentang frekuensi yang diperuntukkan bagi perangkat LPWA non-seluler di Indonesia.

Tabel 1. Pita Frekuensi LPWA (*Low Power Wide Area*) Non Seluler

No	Pita Frekuensi Radio yang digunakan Berdasarkan Izin Kelas	Alat dan/Atau Perangkat Telekomunikasi
40.	868,6 – 868,7 MHz	SRD (<i>Short Range Device</i>)
41.	869,2 – 869,3 MHz	SRD (<i>Short Range Device</i>)
42.	916,1 – 916,5 MHz	SRD (<i>Short Range Device</i>)
43.	917,3 – 917,7 MHz	SRD (<i>Short Range Device</i>)
44.	918,5 – 918,9 MHz	SRD (<i>Short Range Device</i>)
45.	919,5 – 920 MHz	SRD (<i>Short Range Device</i>)
46.	920 – 923 MHz	SRD (<i>Short Range Device</i>), LPWA (<i>Low Power Wide Area</i>) Nonseluler

LoRa yang digunakan pada penelitian ini menggunakan media komunikasi nirkabel, yaitu modul LoRa E220-900T22D sebagai perangkat komunikasi data antara pengirim dan penerima LoRa E220-900T22D. Modul LoRa E220-900T22D disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Modul LoRa E220-900T22D

B. Global Positioning System (GPS)

Global Positioning System (GPS) adalah sistem navigasi berbasis satelit yang memungkinkan penentuan posisi geografis secara real-time melalui penerimaan sinyal dari satelit. GPS bekerja berdasarkan prinsip *triangulasi*, yaitu dengan menghitung jarak dari minimal tiga satelit menggunakan waktu tempuh sinyal (*travel time*) yang diterima oleh GPS receiver. Agar akurat, sistem ini membutuhkan sinkronisasi waktu presisi tinggi dan data posisi satelit yang tepat, serta koreksi delay sinyal akibat gangguan atmosfer [13].

Sistem GPS terdiri atas 24 satelit yang memancarkan sinyal gelombang mikro ke bumi. Sebuah GPS receiver membutuhkan setidaknya tiga satelit untuk menghitung posisi dua dimensi (latitude dan longitude), dan minimal empat satelit untuk mendapatkan posisi tiga dimensi (*latitude, longitude, dan altitude*) [1], [14]. Informasi tambahan seperti kecepatan, arah, dan estimasi waktu tiba juga dapat dihitung dari data tersebut menggunakan metode *Time of Arrival* (TOA).

GPS dapat memberikan berbagai jenis informasi, antara lain:

- Informasi Waktu
GPS memperoleh informasi waktu dari jam atom satelit, yang berguna dalam sinkronisasi sistem komunikasi dan jaringan IoT.
- Informasi Lokasi
Data lokasi meliputi lintang (latitude), bujur (longitude), ketinggian (altitude), serta kecepatan horizontal (ground speed). GPS terbukti memiliki akurasi tinggi dalam sistem monitoring kendaraan berbasis IoT dan kompatibel dengan peta digital seperti Google Maps.
- Informasi Kecepatan
Kecepatan objek dihitung berdasarkan perubahan posisi terhadap waktu. Fitur ini penting dalam sistem transportasi dan pelacakan logistik.
- Arah Perjalanan
GPS dapat mendeteksi arah (azimut) pergerakan objek dan menyimpan rute perjalanan, berguna untuk sistem navigasi.
- Rekaman Data Perjalanan
GPS mampu mencatat data historis seperti total jarak tempuh, kecepatan maksimum/minimum, serta

waktu tempuh. Fitur ini digunakan untuk pelaporan dan evaluasi pergerakan.

- Tracking Objek

Fungsi utama GPS dalam sistem monitoring adalah pelacakan objek secara real-time, umum digunakan pada kendaraan, logistik, hingga pelacakan hewan ternak.

- Penentuan Posisi dan Lokasi Terdekat

GPS mendukung layanan berbasis lokasi (*Location-Based Services*) untuk menunjukkan titik lokasi pengguna dan objek terdekat seperti SPBU, ATM, dan rumah sakit.

Dalam penelitian ini, modul GPS yang digunakan adalah Neo-6M, yaitu modul GPS yang mampu menerima sinyal satelit dan menentukan posisi dua dimensi (lintang dan bujur) secara akurat.



Gambar 2. Modul GPS Neo-6M

Rumus Haversine digunakan untuk menghitung jarak terpendek antara dua titik koordinat pada permukaan bumi yang didekati sebagai bola, meskipun bentuk aslinya menyerupai elipsoid. Pendekatan ini cukup akurat untuk berbagai keperluan praktis seperti navigasi, pemetaan, dan sistem pelacakan. Rumus ini bekerja berdasarkan koordinat geografis berupa lintang (ϕ) dan bujur (λ), yang masing-masing merepresentasikan sudut terhadap garis ekuator dan *Meridian Greenwich*.

Untuk melakukan perhitungan, nilai koordinat terlebih dahulu dikonversi ke dalam satuan radian. Dengan memasukkan nilai-nilai tersebut ke dalam rumus Haversine, diperoleh jarak sepanjang lengkungan permukaan bumi antara dua titik [15]. Hasil perhitungan ini dapat divisualisasikan menggunakan platform pemetaan digital seperti Google Maps atau Google Earth Pro. Dalam sistem monitoring posisi kendaraan, rumus ini sangat berguna karena efisien dan cukup akurat dalam menentukan jarak antar titik dari data GPS [16], [17].

Berikut rumus Haversine yang digunakan untuk menghitung jarak eror antar koordinat :

$$d = 2r \cdot \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\Delta \phi}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2 \left(\frac{\Delta \lambda}{2} \right)} \right) \dots (1)$$

Keterangan :

$$- \quad r \quad = \text{jari-jari bumi (6.371.000 meter)}$$

- $\phi_1 \phi_2$ = latitude lokasi pertama dan kedua dalam radian
- λ = longitude dalam radian
- $\Delta\phi$ = selisih latitude
- $\Delta\lambda$ = selisih longitude
- d = jarak antara kedua titik dalam meter
-



Gambar 3. Modul Nodemcu Esp8266

C. Hypertext Preprocessor (PHP)

PHP (*Hypertext Preprocessor*) merupakan bahasa pemrograman *server-side scripting* yang digunakan untuk membangun aplikasi web dinamis [18]. Kode PHP dieksekusi di sisi server dan hanya hasil akhirnya, berupa halaman HTML, yang dikirim ke browser pengguna. Hal ini membuat kode PHP tidak dapat dilihat secara langsung oleh pengguna, sehingga lebih aman untuk digunakan dalam aplikasi yang memerlukan logika backend.

PHP dapat disisipkan dalam kode HTML, menjadikannya fleksibel untuk pengembangan web. Beberapa keunggulan PHP meliputi:

- Kemudahan dan Kecepatan Pengembangan PHP memungkinkan proses pengembangan web yang cepat dengan performa yang efisien.
- Portabilitas Sistem Operasi dan Web Server PHP mendukung berbagai sistem operasi seperti Windows, Linux, dan macOS serta kompatibel dengan web server seperti Apache, IIS, dan Xitami.
- Gratis dan Open Source PHP dapat digunakan tanpa biaya lisensi karena bersifat open source.
- Terintegrasi dalam HTML PHP merupakan bahasa pemrograman yang dapat disisipkan langsung dalam dokumen HTML.
- Dukungan Luas terhadap Database PHP mendukung integrasi dengan berbagai sistem basis data seperti MySQL, PostgreSQL, Oracle, dan ODBC.

Dengan berbagai keunggulan tersebut, PHP menjadi salah satu bahasa pemrograman populer dalam pengembangan aplikasi web modern yang dinamis dan interaktif [19].

D. NodeMCU Esp8266

ESP8266 merupakan chip Wi-Fi terintegrasi yang banyak digunakan dalam aplikasi *Internet of Things* (IoT). Modul ini dapat berfungsi sebagai Wi-Fi eksternal atau sebagai mikrokontroler yang dapat diprogram secara mandiri. ESP8266 menggunakan arsitektur Harvard 32-bit dan dilengkapi dengan memori flash eksternal, sejumlah pin GPIO, serta mendukung protokol Wi-Fi 802.11 b/g/n. Modul ini mampu beroperasi sebagai *client* maupun *access point*, dan mendukung fitur *web server* yang memungkinkan penyediaan antarmuka pengguna berbasis web. Kemampuannya untuk terhubung ke jaringan Wi-Fi memungkinkan transfer data sensor secara *real-time*.

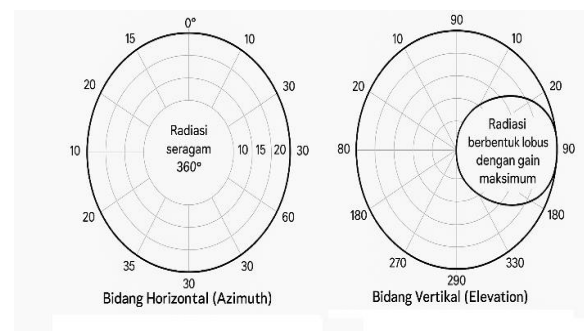
Beberapa keunggulan dari ESP8266 antara lain biaya yang rendah sehingga cocok digunakan untuk proyek IoT skala kecil, konsumsi daya yang rendah yang mendukung efisiensi energi, kompatibilitas dengan Arduino IDE yang memudahkan proses pemrograman, serta adanya pin GPIO multifungsi yang mendukung komunikasi I2C, UART, dan PWM. Namun demikian, ESP8266 juga memiliki beberapa keterbatasan, antara lain kapasitas memori flash yang terbatas sehingga kurang optimal untuk aplikasi berskala besar, kecepatan transfer data yang tidak sebanding dengan teknologi seperti Ethernet, serta tegangan operasi yang hanya mendukung 3,3V sehingga memerlukan konversi tegangan jika digunakan bersama komponen 5V [20].

E. 433Mhz 3dBi Antenna 3m cable,SMA male

Antena eksternal 433 MHz dengan gain 3 dBi, kabel 3 meter, dan konektor SMA Male digunakan karena mendukung kebutuhan jangkauan luas dan sinyal stabil dalam sistem LoRa.

Frekuensi 433 MHz termasuk pita ISM, cocok untuk aplikasi seperti LoRa karena memiliki daya jangkauan jauh dan penetrasi sinyal yang baik. Gain 3 dBi menunjukkan radiasi omnidireksional, ideal untuk pelacakan kendaraan karena menyebar sinyal merata tanpa fokus arah tertentu [21]. Kabel sepanjang 3 meter memungkinkan penempatan antena di lokasi optimal, dan jenis kabel low-loss membantu mengurangi redaman sinyal.

SMA Male umum digunakan pada modul RF seperti SX1278, menawarkan koneksi mekanis kuat dan stabilitas performa pada frekuensi tinggi. Peran antena sangat mempengaruhi performa sistem LoRa; pemilihan antena yang tepat berkontribusi pada stabilitas dan jangkauan komunikasi, bahkan hingga 4 km dalam kondisi LOS[22].



Gambar 4. Jangkauan Radiasi Gain

Gambar 4 memperlihatkan pola radiasi antena pada bidang horizontal (*azimuth pattern*) dan bidang vertikal (*elevation pattern*), yang menggambarkan distribusi kekuatan sinyal terhadap arah azimuth dan elevasi.

Gambar 5 menunjukkan bentuk fisik antena 433 MHz 3 dBi dengan kabel sepanjang 3 meter dan konektor SMA male.



Gambar 5. 433mhz 3dbi Antenna With 3m Cable, SMA Male

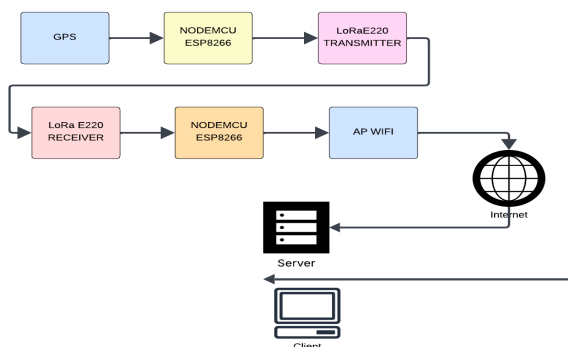
III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini akan membahas mengenai perancangan alat mulai dari perancangan *software* dan perancangan *hardware* secara keseluruhan dimulai dari perangkat *transmitter* dan *receiver* sampai system kontrol alat.

A. Singkatan dan Akronim

Dalam penelitian ini, sistem transmitter dan receiver menggunakan modul LoRa E220-900T22D sebagai pengirim dan penerima sinyal. Modul ini berfungsi untuk mengirimkan data lokasi yang diperoleh dari modul GPS NEO-6M. Inisialisasi dan pengolahan data dilakukan oleh mikrokontroler Arduino Pro Mini.

B. Blok Diagram



Gambar 6. Blok Diagram Alat

Gambar 6 blok diagram alat merupakan representasi dari perancangan sistem monitoring posisi kendaraan yang terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi. Sistem ini diawali dengan modul GPS yang berfungsi untuk

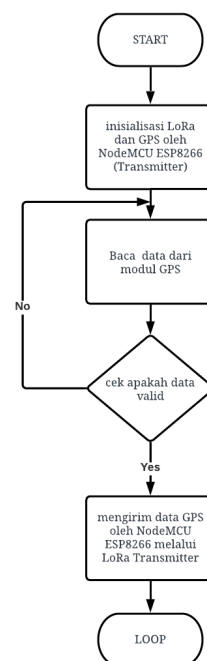
menangkap data koordinat lokasi secara real-time. Data koordinat yang diperoleh dari modul GPS kemudian dikirim ke mikrokontroler NodeMCU ESP8266. NodeMCU ini bertugas untuk memproses dan memformat data lokasi agar dapat dikirimkan melalui jalur komunikasi nirkabel. Setelah itu, data yang telah diformat dikirimkan ke modul LoRa E220 sebagai transmitter. Modul LoRa ini berperan penting dalam mengirimkan data lokasi secara nirkabel menggunakan teknologi LoRa (Long Range), yang dikenal karena konsumsi dayanya yang rendah serta jangkauan komunikasinya yang luas, sehingga sangat cocok untuk aplikasi monitoring jarak jauh di area yang tidak terjangkau oleh jaringan seluler.

Di sisi penerima, sinyal LoRa diterima oleh modul LoRa E220 Receiver. Modul ini kemudian meneruskan data yang diterima ke perangkat Access Point (AP) Wi-Fi. AP Wi-Fi berfungsi sebagai penghubung antara sistem penerima dan jaringan internet, serta mengirimkan data lokasi yang telah diterima ke server melalui koneksi internet. Server berperan sebagai pusat pengolahan dan penyimpanan data, di mana informasi lokasi kendaraan akan disimpan dalam sebuah basis data.

Data ini kemudian dapat diakses oleh perangkat klien seperti komputer, laptop, maupun smartphone melalui koneksi internet secara real-time. Dengan arsitektur ini, sistem pelacakan lokasi berbasis LoRa tidak hanya menawarkan efisiensi dan penghematan daya, tetapi juga memungkinkan pemantauan kendaraan dari jarak jauh dengan mudah dan fleksibel. Hal ini menjadikan sistem ini sangat ideal untuk diterapkan pada berbagai kebutuhan monitoring kendaraan di wilayah terpencil maupun perkotaan.

C. Perancangan Alat

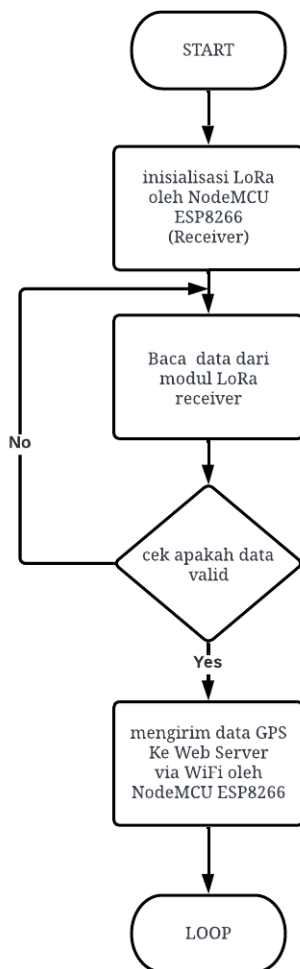
1) Flowchart Alur Transmitter LoRa



Gambar 7. Alur Transmitter LoRa

Gambar 7 menunjukkan diagram alur proses pengiriman data sensor berbasis GPS menggunakan modul LoRa. Proses dimulai dengan inisialisasi modul LoRa agar siap digunakan untuk komunikasi. Selanjutnya, sistem mengambil data lokasi dari modul GPS dan memverifikasi validitas data tersebut. Jika data GPS belum valid, sistem akan terus mencoba mengambil ulang data hingga valid. Setelah mendapatkan data yang valid, informasi lokasi ditampilkan dan segera dikirimkan ke penerima melalui LoRa. Proses ini berlangsung secara berulang untuk memastikan pengiriman data lokasi secara kontinu.

2) Flowchart Receiver LoRa

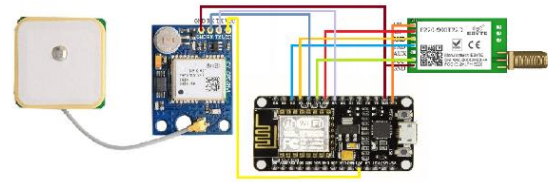


Gambar 8. Alur Receiver LoRa

Gambar 8 menggambarkan alur kerja sistem receiver dalam menerima dan mengirimkan data. Proses dimulai dengan inisialisasi modul LoRa Receiver agar siap menerima data. Selanjutnya, sistem secara terus-menerus membaca data yang masuk dari modul LoRa. Jika belum ada data yang diterima, sistem akan terus menunggu hingga data tersedia. Ketika data berhasil diterima, sistem langsung

mengirimkannya ke web server melalui koneksi internet. Setelah proses pengiriman selesai, sistem kembali membaca data dari LoRa untuk menjaga kontinuitas penerimaan dan pengiriman data secara real-time.

D. Perancangan Transmitter LoRa

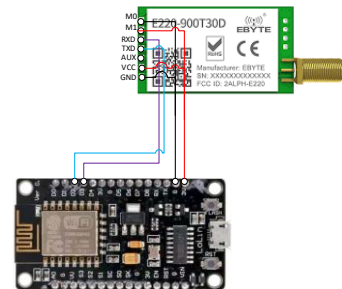


Gambar 9. Wiring Transmitter LoRa

Gambar 9 menunjukkan perancangan sistem LoRa pengirim (*transmitter*) menggunakan NodeMCU ESP8266 yang terhubung dengan modul GPS NEO-6M dan modul LoRa E220-900T22D. Modul GPS berfungsi memperoleh koordinat lokasi kendaraan dan terhubung ke NodeMCU melalui antarmuka UART menggunakan *SoftwareSerial*. Pin TX GPS dihubungkan ke pin D5 (GPIO14) dan RX ke pin D4 (GPIO2). Modul ini mendapat catu daya dari pin 3.3V atau 5V NodeMCU.

Modul LoRa dikonfigurasi dalam mode normal (M0 = 3.3V, M1 = GND) dan juga menggunakan *SoftwareSerial*, dengan TXD LoRa ke D7 (GPIO13) dan RXD ke D6 (GPIO12). VCC LoRa dihubungkan ke 3.3V, dan GND ke GND NodeMCU. Karena keduanya beroperasi pada level logika 3.3V, komunikasi serial dapat dilakukan langsung.

E. Perancangan Receiver LoRa



Gambar 10. Wiring Receiver LoRa

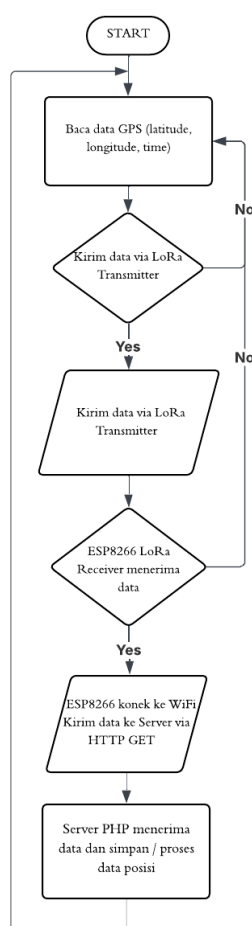
Gambar 10 menunjukkan perancangan sistem LoRa sebagai penerima (*receiver*) menggunakan NodeMCU ESP8266 yang terhubung dengan modul LoRa E220-900T30D. Sebelum digunakan, modul LoRa dikonfigurasi dalam mode penerima (Mode 1) dengan menghubungkan pin M0 ke GND dan pin M1 ke VCC pada NodeMCU.

Komunikasi data dilakukan melalui antarmuka UART menggunakan *SoftwareSerial*, di mana pin TXD pada LoRa dihubungkan ke pin D2 (berfungsi sebagai RX), dan RXD

pada LoRa dihubungkan ke pin D3 (sebagai TX). Pin VCC LoRa dihubungkan ke VCC NodeMCU, sedangkan pin GND LoRa ke GND NodeMCU. Pin AUX pada modul LoRa tidak digunakan dalam perancangan ini. Dengan konfigurasi tersebut, sistem mampu menerima data koordinat posisi kendaraan yang dikirimkan oleh LoRa transmitter secara nirkabel.

F. Perancangan Perangkat Lunak

Dalam merancang Sistem Remote Monitoring Posisi Kendaraan Menggunakan Jaringan Nirkabel Berbasis LoRa, diperlukan perancangan perangkat lunak guna mendukung proses pengiriman dan penerimaan data posisi kendaraan. Sistem ini dirancang untuk mengirimkan data berupa latitude, longitude, dan waktu dari modul GPS melalui perangkat nirkabel LoRa Transmitter, kemudian diterima oleh LoRa Receiver yang terhubung dengan NodeMCU ESP8266. Selanjutnya, NodeMCU mengolah dan mengirimkan data tersebut ke server melalui jaringan internet agar dapat disimpan dalam basis data dan ditampilkan sebagai informasi lokasi kendaraan.



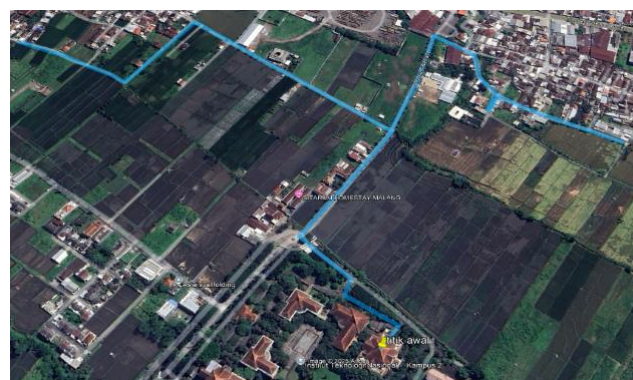
Gambar 11. Alur Perangkat Lunak

Gambar 11 menunjukkan alur perangkat lunak dimulai ketika NodeMCU ESP8266 menginisialisasi dan membaca data dari modul GPS, yang menghasilkan data posisi dalam bentuk latitude, longitude, dan waktu. Setelah memperoleh data yang valid, Arduino mengemas data tersebut ke dalam format string dan mengirimkannya melalui modul LoRa Transmitter. Di sisi penerima, modul LoRa Receiver akan menerima data tersebut dan meneruskannya ke NodeMCU ESP8266. NodeMCU kemudian melakukan parsing untuk memisahkan nilai-nilai data posisi. Setelah parsing selesai, NodeMCU mengirimkan data ke server menggunakan metode HTTP GET melalui koneksi WiFi. Server yang menjalankan skrip PHP akan memproses permintaan HTTP tersebut, mengambil data dari parameter URL, lalu menyimpan atau menampilkannya sesuai kebutuhan sistem monitoring.

IV. SIMULASI DAN ANALISA

A. Lokasi Pengujian

Pengujian sistem remote monitoring posisi kendaraan berbasis LoRa dilakukan di sekitar Kampus 2 Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang. Titik awal pengambilan data dimulai dari halaman depan gedung utama, kemudian melalui Jalan Kampus ITN, Jalan ITN 2 Tasik Madu, Jalan Bowling, hingga kawasan persawahan di sekitar Jalan Golf. Rute ini dipilih untuk merepresentasikan beragam kondisi lingkungan, seperti area terbuka, pemukiman padat, dan area dengan hambatan fisik seperti sudut jalan yang berpotensi memengaruhi kualitas sinyal LoRa.



Gambar 12. Rute pengambilan data

Dari gambar 12 merupakan rute pengujian alat, LoRa receiver ditempatkan di Gedung Laboratorium Elektro ITN Malang lantai 5, sementara LoRa transmitter dipasang pada kendaraan roda dua yang bergerak menyusuri rute tersebut. Pengujian dilakukan dalam lingkungan pinggiran kota dengan kepadatan bangunan sedang serta keberadaan vegetasi yang cukup banyak. Jarak jangkauan LoRa yang diuji berkisar antara 1 hingga 10 km, disesuaikan dengan estimasi jarak berdasarkan peta dan karakteristik wilayah. Jarak tempuh sejauh 1.750 meter digunakan sebagai acuan skala pengujian, namun tidak merepresentasikan jarak uji maksimum secara

keseluruhan. Pengujian ini bertujuan mengevaluasi keandalan sistem dan kinerja transmisi data dalam kondisi nyata di lapangan.

B. Pengujian Parameter GPS LoRa

Pengujian sistem monitoring posisi kendaraan berbasis LoRa dilakukan pada tanggal 16 Mei 2025, pukul 11.54 hingga 12.49 WIB. Pengujian bertujuan untuk memantau performa komunikasi data pada sisi penerima, dengan total 19 sampel data yang dikumpulkan dari modul pengirim dan penerima. Titik pengambilan sampel mencakup jarak terjauh dari posisi awal guna mewakili berbagai kondisi transmisi di lapangan.

Parameter utama yang diamati meliputi *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) sebagai indikator kekuatan sinyal yang diterima, *Horizontal Dilution of Precision* (HDOP) untuk mengukur tingkat presisi posisi secara horizontal, serta data koordinat lokasi berupa latitude dan longitude. Selain itu, timestamp dicatat untuk merekam waktu pengambilan setiap sampel. Hasil pengujian dianalisis berdasarkan variasi jarak antara pengirim dan penerima, untuk menilai performa komunikasi sistem pada berbagai skenario jangkauan. Seluruh data yang diperoleh dianalisis lebih lanjut untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam kondisi operasional sebenarnya di lingkungan pengujian. Yang dapat diperlihatkan pada tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Data Sampel Hasil Uji Alat

Rec. No	latitude	longitude	Sat Cnt	HDOP	RSSI	Time Stamp	d_lat (Δy)	d_lon (Δx)	distance
2463	-7.91656	112.63508	4	172.10	-68	11:57:10	-0.00006	0.00035	39.2
2470	-7.91646	112.63517	4	165.90	-69	11:58:31	0.00004	0.00044	49
2477	-7.91648	112.63537	6	161.00	-100	12:01:33	0.00002	0.00064	70.8
2472	-7.91592	112.63547	4	163.9	-84	11:58:57	0.00058	0.00074	104.3
2486	-7.9145	112.63471	11	83.00	-93	12:07:09	0.002	-0.00003	221.8
2489	-7.91381	112.63512	11	80.00	-100	12:07:43	0.00269	0.00039	302
2531	-7.91363	112.63534	11	83.00	-91	12:31:15	0.00287	0.00061	325.5
2537	-7.91301	112.63453	12	69.00	-99	12:32:24	0.0035	-0.0002	388.6
2501	-7.91325	112.63654	10	89.00	-102	12:14:28	0.00325	0.00181	412.8
2492	-7.91259	112.6357	10	103.00	-98	12:09:16	0.00391	0.00097	447.5
2521	-7.91345	112.63751	11	87.00	-101	12:19:41	0.00305	0.00278	458.1
2522	-7.91345	112.63751	11	87.00	-100	12:19:52	0.00305	0.00278	458.3
2514	-7.91344	112.63751	10	84.00	-99	12:18:20	0.00306	0.00278	459
2523	-7.91368	112.63802	11	90.00	-100	12:20:27	0.00282	0.00329	481.2
2549	-7.91215	112.63332	11	81.00	-95	12:36:04	0.00435	-0.00141	507.6
2552	-7.91214	112.63332	11	79.00	-99	12:36:39	0.00436	-0.00141	508.5
2557	-7.91195	112.6331	12	73.00	-100	12:40:42	0.00455	-0.00163	536.4
2562	-7.91247	112.63136	12	79.00	-100	12:43:59	0.00403	-0.00338	583.6
2568	-7.91204	112.6304	12	84.00	-99	12:49:46	0.00446	-0.00433	690.2

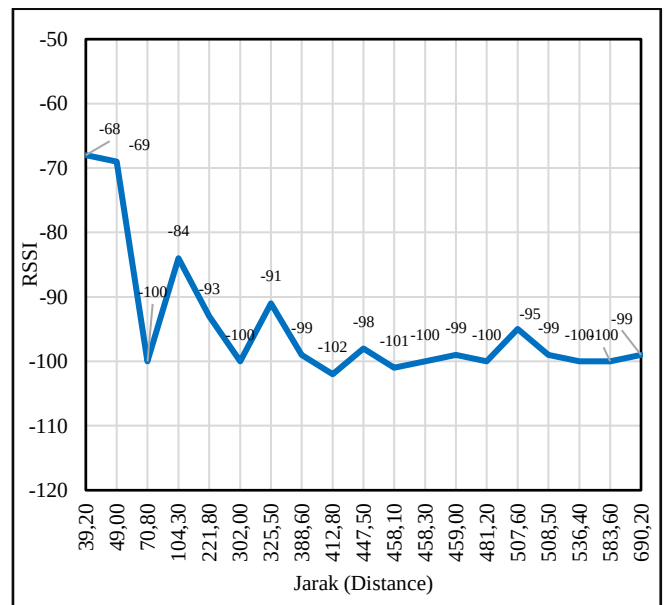
Dari tabel 2 data sampel hasil uji alat diatas dapat dipetakan posisi pengukuran ditunjukkan pada gambar 13.



Gambar 13. Posisi yang dipetakan dari Data Tabel 2.

C. Analisa Data Dari Sistem Monitoring

1) Grafik RSSI terhadap Jarak (distance)



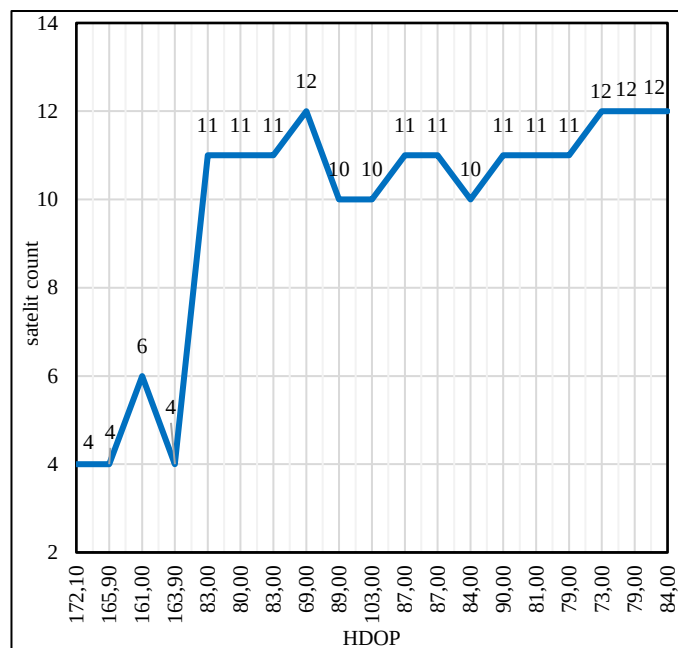
Gambar 14. Grafik RSSI terhadap Jarak (distance)

Dari gambar 14 dapat dilihat grafik menunjukkan kekuatan sinyal yang diterima selama pengujian sistem pemantauan kendaraan berbasis LoRa. RSSI (Received Signal Strength Indicator) merupakan indikator kekuatan sinyal yang diterima oleh perangkat LoRa, dan menjadi parameter penting untuk menilai kualitas komunikasi nirkabel antara modul pengirim dan penerima. Pada grafik, sumbu X menunjukkan waktu pengukuran dalam bentuk jarak (distance) dalam meter (m), sedangkan sumbu Y menampilkan nilai RSSI dalam satuan desibel-miliwatt (dBm).

Nilai RSSI tertinggi yang tercatat adalah -68 dBm pada jarak 39,20 meter, yang menandakan kualitas komunikasi yang baik karena sinyal diterima dengan cukup kuat. Sebaliknya, nilai terendah sekitar -102 dBm pada jarak 690,20 meter, mengindikasikan terjadinya pelemahan sinyal yang signifikan, baik karena jarak yang terlalu jauh maupun adanya hambatan fisik atau interferensi di lingkungan sekitar. Meskipun nilai RSSI rata-rata -94,58 dBm masih dalam batas penerimaan sinyal oleh perangkat LoRa, jangkauan maksimum yang berhasil diuji hanya sekitar 690,20 meter. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem belum mencapai potensi jangkauan maksimal LoRa, yang dapat disebabkan oleh hambatan fisik seperti bangunan beton, vegetasi lebat, dan penempatan antenna yang belum optimal.

Secara umum, grafik memperlihatkan bahwa semakin jauh jarak antara pengirim dan penerima, maka nilai RSSI cenderung menurun, yang sejalan dengan karakteristik redaman sinyal radio dalam sistem komunikasi nirkabel jarak jauh seperti LoRa.

2) Grafik HDOP terhadap Satelit (Satelit count)



Gambar 15. Grafik HDOP terhadap Satelit yang terdeteksi pada modul GPS

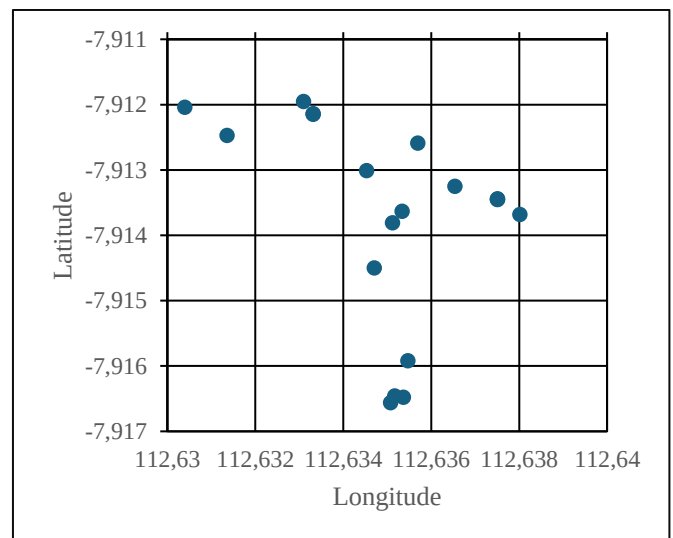
Gambar 15 menunjukkan Grafik yang digunakan untuk menilai kestabilan dan ketepatan data posisi horizontal GPS selama proses pengujian sistem. HDOP (Horizontal Dilution of Precision) merupakan indikator numerik yang menunjukkan tingkat presisi posisi horizontal yang dihasilkan oleh modul GPS, di mana semakin rendah nilainya, maka semakin tinggi tingkat ketepatan posisi yang diperoleh. Pada grafik, sumbu X merepresentasikan nilai HDOP, sedangkan sumbu Y menunjukkan jumlah satelit yang terdeteksi oleh modul GPS selama pengujian.

Nilai HDOP terendah tercatat sebesar 69,00 ketika jumlah satelit yang terdeteksi mencapai 12, yang

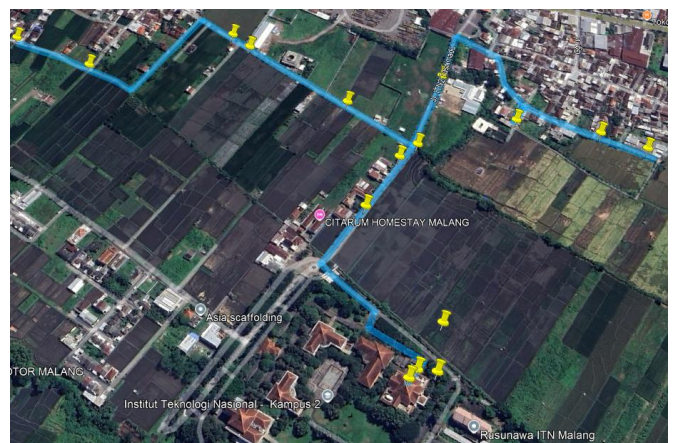
mencerminkan tingkat ketepatan posisi yang tinggi serta kondisi lingkungan yang mendukung penerimaan sinyal GPS secara optimal. Sebaliknya, nilai HDOP tertinggi mencapai 172,10 ketika jumlah satelit yang terdeteksi hanya sebanyak 4, yang menunjukkan penurunan akurasi posisi akibat terbatasnya jumlah satelit dan kemungkinan adanya gangguan sinyal. Rata-rata nilai HDOP selama pengujian adalah 100,73, yang menggambarkan adanya fluktuasi dalam tingkat ketepatan posisi, tergantung pada jumlah satelit yang tersedia dan kondisi lingkungan di sekitar perangkat GPS.

Secara keseluruhan, grafik ini memperlihatkan bahwa jumlah satelit yang terdeteksi memiliki pengaruh langsung terhadap nilai HDOP, sehingga turut menentukan tingkat akurasi data posisi yang diperoleh.

3) Plot Sebaran Koordinat Latitude terhadap Longitude



Gambar 16. Plot sebaran koordinat latitude terhadap longitude



Gambar 17 Penampakan plot koordinat melalui Google Earth Pro

Gambar 16 menunjukkan plot koordinat latitude dan longitude dalam bentuk garis X dan Y, sedangkan Gambar 17

menunjukkan perbandingan hasil plot dengan citra pada Google Earth Pro.

Plot ini digunakan untuk menampilkan lintasan pergerakan kendaraan berdasarkan data koordinat GPS yang diperoleh selama pengujian. Visualisasi dilakukan menggunakan diagram pencar (*scatter plot*), dengan sumbu X merepresentasikan koordinat bujur (longitude) dan sumbu Y menunjukkan koordinat lintang (latitude). Gambar 16 dan 17 menyajikan perbandingan visual posisi kendaraan. Jika titik-titik koordinat membentuk jalur yang berurutan dan konsisten, maka sistem dinyatakan bekerja dengan baik. Sebaliknya, jika titik-titik tersebar tidak beraturan atau terjadi loncatan posisi yang tidak wajar, hal tersebut dapat mengindikasikan adanya gangguan dalam penerimaan atau pemrosesan data GPS.

4) Perhitungan paket loss

Untuk mengevaluasi keandalan komunikasi data dalam sistem monitoring posisi kendaraan berbasis LoRa, dilakukan analisis terhadap parameter paket loss, yaitu persentase jumlah paket data yang hilang selama proses transmisi dari pengirim (*transmitter*) ke penerima (*receiver*). Kehilangan paket ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti gangguan sinyal, interferensi lingkungan, keterbatasan jangkauan LoRa, maupun kendala perangkat keras. Dalam penelitian ini, dari total 265 paket data yang seharusnya diterima, hanya 106 paket yang berhasil diterima oleh sistem. Berdasarkan perhitungan, tingkat paket loss dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Jumlah paket yang seharusnya diterima} = \frac{\text{Data terakhir} - \text{Data awal}}{\text{interval (10)}} + 1$$

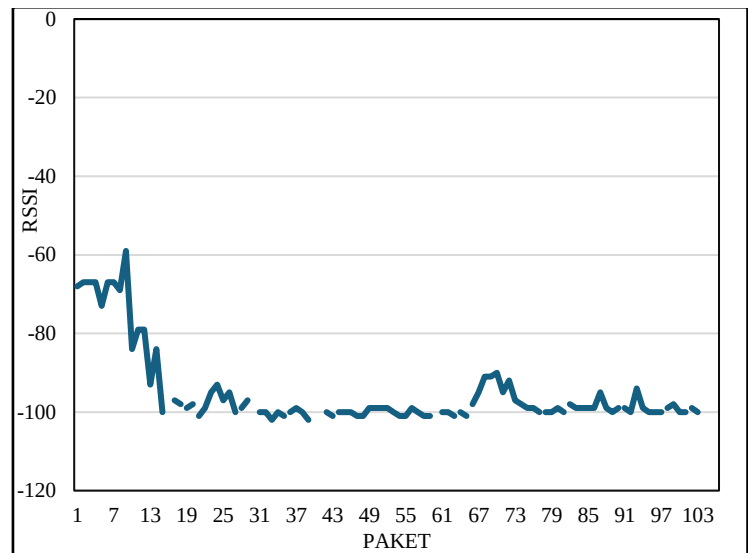
$$\text{Paket Loss (\%)} = \frac{\text{jumlah paket seharusnya diterima} - \text{jumlah paket yang diterima}}{\text{jumlah paket seharusnya diterima}} \times 100\%$$

$$\text{Jumlah paket yang seharusnya diterima} = \frac{2720 - 80}{10} + 1 = 265 \text{ paket}$$

$$\text{Paket Loss (\%)} = \frac{265 - 106}{265} \times 100\% \approx 60\%$$

Berdasarkan hasil pengujian sistem monitoring posisi kendaraan berbasis LoRa, diperoleh bahwa dari total 265 data yang seharusnya diterima oleh modul penerima, hanya 106 data yang berhasil diterima, sehingga terdapat 159 data yang hilang selama proses transmisi. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan pengiriman data hanya sebesar 40%, sementara tingkat kehilangan data atau *packet loss* mencapai 60%. Tingginya persentase *packet loss* mengindikasikan bahwa lebih dari separuh data yang dikirim tidak berhasil sampai ke penerima. Beberapa faktor yang kemungkinan menyebabkan kondisi ini antara lain adalah jarak komunikasi yang terlalu jauh antara pengirim dan penerima, adanya hambatan fisik seperti bangunan atau kendaraan yang menghalangi jalur transmisi sinyal, serta gangguan atau interferensi sinyal dari lingkungan sekitar. Temuan ini menjadi dasar penting untuk melakukan evaluasi lebih lanjut terhadap kualitas jaringan dan merancang solusi guna

meningkatkan keandalan sistem komunikasi LoRa ke depannya.



Gambar 18 grafik RSSI pada Jumlah paket diterima

Gambar 18 menunjukkan grafik hubungan antara kekuatan sinyal (*Received Signal Strength Indicator* atau RSSI) dan jumlah paket data yang diterima selama pengujian sistem monitoring posisi kendaraan, terlihat bahwa pada awal proses pengiriman, kekuatan sinyal masih berada dalam kategori cukup baik, yaitu antara -60 dBm hingga -80 dBm. Namun, seiring waktu dan bertambahnya jarak antara pemancar dan penerima, nilai RSSI menurun signifikan hingga mencapai sekitar -100 dBm. Nilai RSSI di bawah -100 dBm mengindikasikan sinyal yang sangat lemah dan berpotensi tinggi mengalami gangguan atau kehilangan data. Hal ini juga tercermin dari munculnya titik-titik kosong pada grafik, yang menunjukkan adanya paket data yang tidak diterima (*intermiten*).

Penurunan kualitas sinyal ini diduga disebabkan oleh beberapa faktor seperti jarak komunikasi yang terlalu jauh, adanya hambatan fisik seperti bangunan atau kendaraan di antara perangkat, serta interferensi dari sumber sinyal radio lain di lingkungan sekitar. Kondisi ini selaras dengan hasil perhitungan *packet loss* sebelumnya, yaitu sebesar 60%, yang menunjukkan bahwa lebih dari separuh data tidak berhasil diterima dengan baik. Oleh karena itu, diperlukan optimalisasi sistem, baik dari sisi konfigurasi teknis LoRa seperti peningkatan daya pancar atau penyesuaian parameter komunikasi, maupun pengaturan lingkungan pengujian, guna meningkatkan kualitas sinyal dan mengurangi tingkat kehilangan data.

5) Rata-rata Error Koordinat GPS

Pada sistem pelacakan posisi kendaraan menggunakan GPS, koordinat yang diterima tidak selalu akurat. Ketidaktepatan ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti gangguan sinyal, kondisi cuaca yang buruk, keberadaan penghalang fisik seperti bangunan atau pepohonan, serta keterbatasan sensitivitas perangkat GPS itu

sendiri. Faktor-faktor tersebut dapat memengaruhi keakuratan data lokasi yang diterima dan berdampak pada hasil pemantauan posisi kendaraan. Maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan metode haversine.

Perhitungan ini bertujuan untuk mengukur sejauh mana error dari pembacaan koordinat GPS dibandingkan dengan jalur sebenarnya yang dilalui oleh kendaraan selama proses pengujian.

a) Selisih perubahan posisi kearah Utara-Selatan (ΔY)

Selisih perubahan posisi kendaraan ke arah Utara-Selatan, yang disimbolkan dengan ΔY , menggambarkan deviasi pergerakan pada sumbu vertikal (garis lintang/latitude) terhadap lintasan ideal. Nilai ΔY diperoleh dari selisih latitude antar dua titik GPS yang berurutan, kemudian dikalikan dengan nilai rata-rata panjang satu derajat lintang bumi, yaitu sekitar 111.320 meter

$$\Delta Y = \Delta \text{latitude} \times \approx 111320 \text{ derajat lintang bumi}$$

$$\Delta Y = -0.00006 \times 111320 = -6,68 \text{ meter}$$

b) Selisih perubahan posisi kearah Barat-Timur (ΔX)

Selisih perubahan posisi ke arah Timur-Barat, yang disimbolkan dengan ΔX , mengukur pergerakan kendaraan pada sumbu horizontal (garis bujur atau longitude) dibandingkan dengan jalur ideal. Perhitungan ΔX dilakukan dengan menghitung selisih nilai longitude antar titik GPS secara berurutan, kemudian dianalisis apakah pembacaan posisi mengandung pergeseran signifikan ke arah timur atau barat.

$$\Delta X = \Delta \text{longitude} \times 111320 \text{ derajat lintang bumi} \times \cos(\text{latitude}_{ref})$$

$$\Delta X = 0.00035 \times \approx 111320 \times \cos(-7.91656) = 38,59 \text{ meter}$$

c) Perhitungan jarak perubahan titik koordinat

Dari hasil perhitungan ΔX dan ΔY untuk memperkirakan jarak antara perubahan jarak dua titik koordinat dihitung sebagai berikut :

$$d = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2}$$

$$d = \sqrt{(38,6)^2 + (6,6792)^2} = 39,20 \text{ meter}$$

Tabel 3. Hasil Perhitungan dan Pembacaan Alat

ΔY (m)	ΔX (m)	jarak perhitungan (meter)	jarak pembacaan alat (meter)
-6,68	38,59	39,16	39,20
4,45	48,51	48,72	49,00
2,23	70,57	70,60	70,80
64,57	81,59	104,05	104,30
222,64	-3,31	222,66	221,80
299,45	43,00	302,52	302,00
319,49	67,26	326,49	325,50
389,62	-22,05	390,24	388,60

361,79	199,57	413,18	412,80
435,26	106,95	448,21	447,50
339,53	306,52	457,42	458,10
339,53	306,52	457,42	458,30
340,64	306,52	458,25	459,00
313,92	362,75	479,73	481,20
484,24	-155,47	508,59	507,60
485,36	-155,47	509,65	508,50
506,51	-179,72	537,45	536,40
448,62	-372,68	583,22	583,60
496,49	-477,42	688,79	690,20

Tabel 3. menunjukkan hasil perhitungan perubahan jarak dari setiap pergerakan alat.

d) Perhitungan Nilai Error Alat

Untuk mengevaluasi tingkat akurasi sistem monitoring posisi kendaraan, dilakukan perhitungan nilai error antara data hasil pembacaan alat dengan data perhitungan sebenarnya. tujuan dari perhitungan ini adalah untuk mengetahui sejauh mana keakuratan sistem dalam menentukan posisi kendaraan.

Metode yang digunakan adalah rata-rata error relatif, yaitu dengan membandingkan selisih antara data pembacaan alat dan data perhitungan, kemudian dirata-ratakan.

$$\text{Rata - rata error relatif} =$$

$$= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|\text{nilai pembacaan alat}_i - \text{nilai perhitungan}_i|}{\text{nilai perhitungan}_i} \right) \times 100\%$$

$$\text{data ke} - 1 = \left(\frac{|39,16 - 39,20|}{39,16} \right) \times 100\% = \frac{0,04}{39,16} \times 100\% = 0,001021\%$$

Tabel 4. Perhitungan Error relative tiap Data

Jarak Perhitungan (m)	Jarak pembacaan alat (m)	Selisih	Error Relatif (%)
39,16	39,20	0,04	0,1021
48,72	49,00	0,28	0,5749
70,60	70,80	0,20	0,2833
104,05	104,30	0,25	0,2402
222,66	221,80	0,86	0,3863
302,52	302,00	0,52	0,1719
326,49	325,50	0,99	0,3032
390,24	388,60	1,64	0,4201
413,18	412,80	0,38	0,0919
448,21	447,50	0,71	0,1584
457,42	458,10	0,68	0,1487

457,42	458,30	0,88	0,1924
458,25	459,00	0,75	0,1637
479,73	481,20	1,47	0,3064
508,59	507,60	0,99	0,1947
509,65	508,50	1,15	0,2257
537,45	536,40	1,05	0,1953
583,22	583,60	0,38	0,0652
688,79	690,20	1,41	0,2047

Dari hasil seluruh perhitungan ditunjukkan pada tabel 4 diambil nilai error relatif sebagai berikut :

Jumlah error relatif = $0,1021 + 0,5749 + 0,2833 + 0,2402 + 0,3863 + 0,1719 + 0,3032 + 0,4201 + 0,0919 + 0,1584 + 0,1487 + 0,1924 + 0,1637 + 0,3064 + 0,1947 + 0,2257 + 0,1953 + 0,0652 + 0,2047 = 4,4342$

$$\text{rata - rata error relatif} = \frac{4,4342}{19} = 0,23\%$$

V. KESIMPULAN

Sistem remote monitoring posisi kendaraan berbasis LoRa berhasil mengirimkan data lokasi secara real-time dengan menggunakan NodeMCU ESP8266, modul GPS NEO-6M, dan LoRa E220-900T22D. Keunggulan utama sistem ini terletak pada jangkauan komunikasi yang luas serta konsumsi daya yang rendah, sehingga cocok untuk digunakan di wilayah dengan keterbatasan jaringan seluler.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai RSSI tertinggi yang tercatat adalah -68 dBm dan nilai terendah -102 dBm. Rata-rata nilai RSSI sebesar -94,58 dBm menunjukkan bahwa sistem masih berada dalam ambang penerimaan sinyal, meskipun terjadi penurunan kualitas seiring bertambahnya jarak. Gambar 18 menunjukkan hubungan antara kekuatan sinyal (RSSI) dan jumlah paket data yang diterima, di mana penurunan RSSI hingga di bawah -100 dBm berkorelasi dengan tingginya tingkat kehilangan data, yang mencapai sekitar 60%. Titik-titik kosong pada grafik menunjukkan paket yang tidak diterima, diduga akibat hambatan fisik, jarak yang terlalu jauh, serta interferensi lingkungan.

Jangkauan komunikasi efektif sistem hanya mencapai ±690 meter dalam kondisi nyata, lebih rendah dari spesifikasi maksimum modul LoRa, yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan penempatan antena yang belum optimal. Pengukuran akurasi posisi berdasarkan HDOP menunjukkan nilai terendah 69,00 saat 12 satelit terdeteksi, dan tertinggi 172,10 saat hanya 4 satelit yang terdeteksi. Rata-rata HDOP sebesar 100,73 mencerminkan fluktuasi akurasi yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan jumlah satelit. Dengan tingkat error relatif sebesar 0,23%, sistem ini menunjukkan akurasi yang cukup baik dalam pemantauan posisi.

Secara keseluruhan, sistem ini cukup andal dalam memantau posisi kendaraan secara nirkabel di area terbuka.

Pengembangan lebih lanjut disarankan dengan penempatan perangkat di lokasi yang lebih optimal, penambahan parameter evaluasi seperti Bit Error Rate dan Packet Loss, serta integrasi fitur tambahan seperti pemantauan kecepatan, geofencing, dan pemrosesan data menggunakan algoritma Kalman Filter untuk meningkatkan kinerja dan keandalan sistem.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Moumen, N. Rafalia, J. Abouchabaka, and M. Aoufi, "Real-time GPS Tracking System for IoT-enabled Connected Vehicles," in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Aug. 2023. doi: 10.1051/e3sconf/202341201095.
- [2] R. N. Cahyani, "RANCANG BANGUN SISTEM PROTEKSI," Jul. 2023.
- [3] S. W. Nengsi, "MONITORING KENDARAAN MENGGUNAKAN LONG RANGE RADIO FREKUENSI BERBASIS WEB," Aug. 2019.
- [4] E. Chinonso, H. Okemiri, and C. Anikwe, "Vehicle Monitoring System based On IOT, Using 4G/LTE," *International Journal of Engineering and Management Research*, vol. 11, Aug. 2021, doi: 10.31033/ijemr.11.4.2.
- [5] A. Roihan, M. Prasetyo, and A. Rifa'i, "MONITORING LOCATION TRACKER UNTUK KENDARAAN BERBASIS RASPBERRY Pi," *Journal CERITA*, vol. 3, pp. 148–161, Aug. 2017, doi: 10.33050/cerita.v3i2.652.
- [6] Abdul Hamid Kurniawan, Erry Yadie, and Ahmad Arief Ahyani, "Penerapan Komunikasi Dua Arah Menggunakan Teknologi LoRa Pada RC Car," *PoliGrid*, vol. 4, no. 1, Nov. 2023, doi: 10.46964/poligrid.v4i1.22.
- [7] Y. Salim, T. Susila, D. Pono, and B. Mardjoko, "Sistem Pemantauan Posisi Mobil Dengan Menggunakan Global Position System (GPS) Melalui Radio Transceiver," Mar. 2016.
- [8] A. Sandro and E. C. D. Rinin, "Implementasi Global Positioning System (GPS) dan Location Based Service (LSB) pada Sistem Informasi Kereta Api untuk Wilayah Jabodetabek," *JURNAL SISFOTEK GLOBAL*, vol. 7 no.2, Sep. 2017.
- [9] L. Alliance, "A technical overview of LoRa® and LoRaWAN®," 2020. [Online]. Available: <https://lora-alliance.org>
- [10] A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, and W. M. Townsley, "A study of Lora: Long range & low power networks for the internet of things," *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, no. 9, Sep. 2016, doi: 10.3390/s16091466.
- [11] LoRa Alliance, "LoRaWANTM 1.1 Specification, Version 1.1." Accessed: May 26, 2025. [Online].

- Available: https://loralliance.org/resource_hub/lorawan-specification-v1-1/
- [12] K. K. dan I. R. Indonesia, "Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2019 tentang Penggunaan Spektrum Frekuensi Radio Berdasarkan Izin Kelas," Kementerian Komunikasi dan Informatika, Jakarta, 2019. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/135579/permen-kominfo-no-1-tahun-2019>
- [13] S. K. Pagoti, V. B. S. Srilatha, and I. Dutt, "Investigation On Gps Receiver Position Estimate Error And Performance Analytics Interpretation Using Expanded Least Quadratic Estimator," *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH*, vol. VOLUME 9, no. ISSUE 04, Apr. 2020, [Online]. Available: www.ijstr.org
- [14] M. Budiman, Z. Auli, and D. V. S. Y. Sakti, *PERANCANGAN SISTEM PELACAK GPS DAN PENGENDALI KENDARAAN JARAK JAUH BERBASIS ARDUINO*. 2020. doi: 10.5281/zenodo.4323233.
- [15] E. Winarno, W. Hadikurniawati, and R. N. Rosso, "Location based service for presence system using haversine method," in *2017 International Conference on Innovative and Creative Information Technology (ICITech)*, 2017, pp. 1–4. doi: 10.1109/INNOCIT.2017.8319153.
- [16] A. Sofwan, Y. A. A. Soetrisno, N. P. Ramadhani, A. Rahmayani, E. Handoyo, and M. Arfan, "Vehicle Distance Measurement Tuning using Haversine and Micro-Segmentation," in *2019 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, 2019, pp. 239–243. doi: 10.1109/ISITIA.2019.8937128.
- [17] R. A. Azdy and F. Darnis, "Use of Haversine Formula in Finding Distance between Temporary Shelter and Waste End Processing Sites," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, May 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1500/1/012104.
- [18] S. Alih and E. Ogala, "Concept of Web Programming, An Overview of PHP Vol. 1," *Int J Sci Eng Res*, vol. 10, pp. 1–6, Dec. 2019.
- [19] C. Deming, P. Reddy Baddam, and V. Reddy Vadiyala, "Unlocking PHP's Potential: An All-Inclusive Approach to Server-Side Scripting," *Engineering International*, vol. 6, no. 2, 2018.
- [20] Y. Singh Parihar and Y. S. Parihar, "Internet of Things and Nodemcu A review of use of Nodemcu ESP8266 in IoT products," *JETIR*, 2019. [Online]. Available: www.jetir.org
- [21] M. S. Miah, A. N. Khan, C. Icheln, K. Haneda, and K.-I. Takizawa, "Antenna System Design for Improved Wireless Capsule Endoscope Links at 433 MHz," *IEEE Trans Antennas Propag*, vol. 67, no. 4, pp. 2687–2699, 2019, doi: 10.1109/TAP.2019.2900389.
- [22] G. Callebaut, G. Leenders, C. Buyle, S. Crul, and L. Van der Perre, "LoRa physical layer evaluation for point-to-point links and coverage measurements in diverse environments," *arXiv preprint arXiv:1909.08300*, 2019.

VII. BIODATA PENULIS



Nama penulis Nusrliska, lahir di Desa Pardamean, 24 juni 2003. Penulis menyelesaikan Pendidikan sekolah menengah di Kejuruan di SMA Negeri 2 Lawe sigala gala tahun 2021 penulis melanjutkan Pendidikan studi di perguruan tinggi swasta Institut Teknologi Nasional Malang program studi Teknik Elektro S-1 dengan konsentrasi Teknik Telematika .Akhir kata dari penulis mengucapkan terimakasih dan rasa syukur yang sebanyak banyaknya atas selesainya penelitian ini dengan judul " sistem remote monitoring posisi kendaraan menggunakan jaringan nirkabel berbasis LoRa".