

RESEARCH ARTICLE

Reverse Engineering Lora Menggunakan Gnuradio Lora

Muhammad Farhan Qolbuna, Henry Rossi Andrian* and Mochammad Fahru Rizal

Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom, Bandung, 40257, Jawa Barat, Indonesia

* Corresponding author: mfrizal@telkomuniversity.ac.id

Received on 27 October 2023; accepted on 27 November 2023

Abstrak

LoRa merupakan sistem komunikasi nirkabel yang memiliki kelebihan mampu menjangkau jarak jauh dan hemat daya. Dalam implementasinya, LoRa memiliki kekurangan berupa rentannya pengupingan atau penyamaran sinyal dan paket data sehingga dapat dicuri oleh pihak yang tidak bertanggungjawab. Proyek akhir ini bertujuan untuk menunjukkan kerentanan tersebut dengan melakukan MITM Attack (*Man In The Middle Attack*) menggunakan pengujian berupa rekayasa balik atau *reverse engineering* (decoding, encoding, sniffing, dan parsing) dengan indikator suhu dan kelembaban dengan menggunakan GNU Radio. Metode uji validitas yang digunakan adalah rekayasa balik (*reverse engineering*) dengan perangkat *transmitter* dan *receiver*, serta akan memunculkan data berupa suhu, kelembaban, waktu *delay*, dan frekuensi. Sistem ini akan dapat menyempurnakan LoRa agar tidak rentan terhadap penyadapan.

Key words: LoRa, *Reverse Engineering*, GNU Radio.

Pendahuluan

Perkembangan teknologi yang sangat maju mengakibatkan tingkat kebutuhan akan internet sebagai sistem komunikasi semakin meningkat [1]. Salah satu sistem internet sebagai alat komunikasi adalah jaringan LoRa. Jaringan LoRa merupakan sistem internet yang mampu menjangkau jarak jauh dan sangat hemat baterai. Namun jaringan LoRa mudah dikuping atau disamarkan oleh para penjahat untuk pencurian sinyal dan paket data yang berbasis informasi pribadi, seperti kredensial login, detail akun dan nomor kartu kredit. Target biasanya adalah pengguna aplikasi keuangan, bisnis SaaS, situs e-niaga dan situs web lain yang memerlukan login. Hal ini menjadi hal penting bagi para teknisi jaringan untuk memberikan keamanan terhadap pengguna internet.

Langkah-langkah keamanan tersebut adalah mencari tahu dan memahami cara kerja keamanan jaringan dan mencuri informasi dengan berbagai cara, salah satunya adalah memantau jaringan dengan software dan mencatat informasi yang jelas. Teknik yang digunakan pada langkah langkah diatas adalah MITM (*Man in the Middle*) Attack [2]. MITM (*Man in the Middle*) Attack juga dapat digunakan untuk menguping atau menyamaran sinyal dan paket data seolah pertukarannya berlangsung normal. MITM (*Man in the Middle*) Attack dapat digunakan untuk mendengar percakapan pribadi, melihat berbagai informasi yang ada di dalam perangkat yang digunakan dan mengubah percakapan antara kedua belah pihak serta masih banyak fungsi lainnya [3]. Pada dasarnya langkah langkah MITM (*Man in the Middle*) Attack dapat juga digunakan untuk menentukan langkah langkah keamanan.

Langkah langkah ini dapat diperoleh selama tahap infiltrasi serangan ancaman yang persisten (APT) pada tingkat lanjut. [4] Atas dasar hal di atas, maka pada pengujian ini penulis ingin melakukan *Man In The Middle* (MITM) Attack untuk menunjukkan kerentanan jaringan LoRa dan mengidentifikasi kemungkinan jika terjadi serangan yang dilakukan ke jaringan dengan menggunakan *sniffing* dan *replay*. Serangan pada jaringan dilakukan dengan mengimplementasikan *protocol analyser* (*sniffer*) untuk menangkap paket data. Sedangkan langkah *sniffing* diimplementasikan menggunakan perangkat keras RTL-SDR dan divisualisasikan melalui GNU-Radio [6]. Judul dalam penulisan buku ini adalah "*Reverse Engineering* LoRa Menggunakan GNURadio LoRa" [5].

Tinjauan Pustaka

Arduino UNO yaitu mikrokontroler bersifat terbuka berdasarkan *hardware* dan aplikasi yang digunakan untuk pemrograman dengan mengikuti langkah dari komunitas arduino secara online. Arduino yaitu otak dari ribuan proyek hingga instrumen ilmiah. Arduino dibuat elektronik yang praktis diakses oleh *developer* dan siapa yang menciptakan objek. Arduino diciptakan di Ivrea *Interaction Design Institute* untuk pembuatan *prototipe*, ditujukan untuk pemula. Arduino dibeli prarakit atau dibuat dari tangan karena bersifat terbuka. Disesuaikan kebutuhan, dapat diperbarui dan distribusi sendiri. *Board* Arduino pra-rakitan meliputi mikrokontroler yang diprogram menggunakan Bahasa Arduino berbasis C++ dengan variabel dan fungsi pada program variabel dan fungsi pada program dasar. Arduino mudah diakses dan digunakan

pada ribuan proyek dan aplikasi yang berbeda. Arduino mudah digunakan oleh orang pemula dan fleksibel untuk digunakan di berbagai *Operating System* (OS) seperti Windows, Linux, dan Mac.

LoRa (Long Range)

LoRa (*Long Range*) ditemukan oleh sebuah perusahaan startup oleh negara perancis dengan nama Cycleo, kemudian, diakuisisi oleh Semtech. LoRa adalah sebuah teknologi data link yang dikembangkan oleh Semtech untuk standarisasi LPWAN. LoRa menyediakan komunikasi jarak jauh sepanjang 5 km untuk urban, 15 km untuk wilayah Rural, dan lebih dari 15 km di daerah yang tidak ada penghalang. Ciri dari LoRa adalah konsumsi daya yang rendah karena menggunakan baterai dan bisa bertahan selama 10 tahun.

LCD (Liquid Crystal Display)

LCD (Liquid Crystal Display) yaitu salah komponen elektronik yang dipakai untuk tampilan suatu data, baik karakter, huruf maupun grafik. Salah satu jenis display terbuat dari CMOS logic yang tidak menghasilkan. tetapi, memantulkan cahaya yang terdapat di sekelilingnya terhadap *front-lit* atau transmisi cahaya dari *back-lit* LCD (*Liquid Crystal Display*) yang berfungsi untuk menampilkan data baik dalam bentuk, karakter, huruf, atau grafik.

DHT (Digital Humidity and Temperature)

Sensor DHT (*Sensor Humidity and Temperature*) adalah paket sensor yang berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembaban udara. Didalamnya terdapat thermistor type NTC (*Negative Temperature Coefficient*) untuk mengukur suhu, sebuah sensor kelembaban dengan menggunakan karakteristik resistif terhadap perubahan kadar air pada udara dan terdapat *chip* yang ada di dalamnya untuk

I2C (Inter Integrated Circuit)

I2C (*Inter Integrated Circuit*) adalah standar komunikasi serial 2 arah menggunakan 2 *channel* untuk mengirimkan data (hasil dari MASTER ke Slave) ataupun menerima Data (*INPUT* dari slave ke Master). Sistem I2C terdiri dari saluran SCL (*Serial Clock*) dan SDA (*Serial Data*) yang membawa informasi data antara I2C dengan menggunakan *micro-controller*. Perangkat/device dihubungkan menggunakan sistem I2C Bus dan bisa dioperasikan menjadi Master dan Slave. Master adalah perangkat yang melakukan transfer data di I2C Bus akan membentuk sinyal *Start*, diakhiri transfer data dengan membentuk sinyal *Stop*, dan membangun frekuensi *clock*. Slave adalah perangkat dengan alamat master.

Debian

Debian yaitu OS (*Operating System*) *open-source* yang dikembangkan oleh programmer yang terlibat dalam proyek debian. *Operating System* yaitu gabungan aplikasi yang dikembangkan menggunakan lisensi GNU dan kernel Linux. Sehingga menjadi populer menggunakan nama Debian GNU/Linux. *Operating System* (OS) berbasis kernel Linux yaitu salah satu distro Linux yang populer dengan sistem yang stabil. Dengan perhitungan berbasis Debian. Mirip seperti *Ubuntu*, *Xubuntu*, *Knoppix*, *Mint*, dan lainlain.

RTL-SDR

RTL-SDR yaitu hardware elektronik berbentuk dongle USB yang memiliki komponen utama berupa microchip buatan Realtek Semiconductor Corp, Taiwan. Jadi, dapat disimpulkan bahwa hardware dan software. Jadi, dapat disimpulkan bahwa hardware bekerja sesuai kontrol dari sebuah software sebagai akibat peruntukkan yang bergantung pada software.

VMWare

VMWare yaitu layanan *cloud* untuk pengembangan perangkat Software virtualisasi dan *cloud computing* yang digunakan membuat mesin virtual. Dibangun pada 1998, perusahaan ini termasuk anak perusahaan Dell *Technologies*. VMWare yaitu perusahaan teknologi virtualisasi berdasarkan *hypervisor* ESX/ESXi pada arsitektur x86. Hypervisor diinstal pada server fisik yang beberapa mesin berjalan di server fisik, seperti jaringan dan RAM. yang sama. Setiap mesin virtual bisa menjalankan *Operating System* (OS), berarti dapat menjalankan 1 server fisik. Lalu, mesin virtual pada server fisik kemungkinan mesin virtual dapat membagi sumber. Singkat cerita VMWare yaitu salah satu aplikasi yang melakukan virtualisasi dan *cloud computing* dan device lain. Misalnya, pengguna dapat menjalankan OS (*Operating System*) Windows dan Mac OS pada 1 komputer seolah-olah memiliki 2 perangkat. Proses dilakukan menggunakan *device* dan menginpor software VM tanpa reboot dahulu. Lalu, *user* masuk ke sistem operasi *host* misalnya, beralih dari windows ke linux dan sebaliknya. Jadi, OS yang ke-2 dijalankan di OS host atau yang biasa disebut dengan guest OS. VMWare bisa dilanjutkan pada Windows, Linux, Mac OS.

GNURadio

GNURadio yaitu perangkat lunak yang bersifat terbuka untuk belajar cara membuat dan menjalankan sistem aplikasi-defined radio. Pada tahun 2001, GNURadio saat ini adalah proyek resmi yang berasal dari GNU *project*. Philanthropist John Gilmore memulai dan dapat dipertahankan GNURadio dengan mengeluarkan dana \$320, 000 (US) kepada Eric Blossom untuk menghasilkan program dan pekerjaan proyek manajemen. GNURadio dirilis menggunakan lisensi GPL versi lisensi 3.

Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam melakukan penelitian yaitu menggunakan gr-lora. gr-lora adalah suatu blok yang digunakan mengambil paket data dari LoRa melalui antena RTL-SDR di GNURadio untuk menangkap sinyal dari LoRa. Sistem perancangan yang digunakan yaitu sebagai berikut: 1.

Pada gambar 1 perancangan sistem ini. Suhu ditangkap oleh LoRa Transmitter Arduino Uno untuk dilakukan transmisi paket data ke LoRa Receiver Arduino Uno. Lalu, paket data yang dikirim dari LoRa Transmitter Arduino Uno lalu diterima oleh LoRa Receiver untuk dilakukan untuk menerima paket data dari LoRa Transmitter untuk menampilkan suhu dan kelembaban di LCD pada LoRa Receiver arduino. Setelah itu, sinyal dari LoRa ditangkap oleh antena RTL-SDR dan diteruskan ke GNURadio untuk dilakukan sniffing.

Hasil dan Pembahasan

Pengujian pertama yaitu, pengujian jarak paket data yang diterima antara LoRa Transmitter dan LoRa Receiver dengan jarak pengukuran 1-20 meter. Gambar dari hasil pengujian akan ditampilkan oleh penulis sebagai berikut: 2. Pada gambar 2 menampilkan banyaknya pengiriman paket data dari LoRa Transmitter. Semakin banyak data yang di kirim, maka semakin banyak data suhu dan kelembaban yang diterima LoRa Receiver. Pada Gambar 3 menampilkan suhu dan kelembaban di serial monitor Arduino Uno Receiver. Data suhu dan kelembaban ini berasal dari LoRa Transmitter. Pada Gambar 4 menampilkan suhu dan kelembaban di LCD Arduino Uno setelah dilakukan pengkodean pada Arduino Uno Receiver untuk mencetak suhu dan kelembaban pada LCD Arduino Uno Receiver.

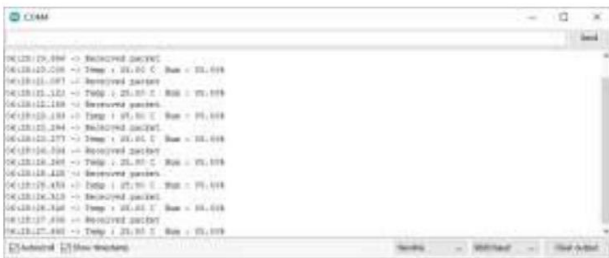
Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa LoRa Receiver tidak dapat menerima data karena LoRa Transmitter dimatikan, sehingga data suhu



Gambar 1. Diagram Blok Sistem.



Gambar 2. Perancangan Sistem untuk Dilakukan Pengujian.



Gambar 3. Perancangan Sistem untuk Dilakukan Pengujian.

dan kelembaban tidak terlihat dan tidak menerima paket data berkali-kali di serial monitor pada LoRa Receiver Arduino Uno.

Pada Gambar 6 menampilkan bahwa di LCD LoRa Receiver menampilkan tulisan "LoRa Transmitter Is Shutting Down" ketika LoRa Transmitter tidak mengirimkan data ke LoRa Receiver. Sehingga data suhu dan kelembaban tidak tampil di LCD LoRa Receiver Arduino Uno. Parameter Pengujian LoRa yang lainnya adalah *Delay* (waktu pengiriman). *Delay* yaitu waktu yang diperlukan sebuah data untuk menempuh jarak dari asal ke tujuan. *Delay* dipengaruhi oleh jarak, media fisik



Gambar 4. Perancangan Sistem untuk Dilakukan Pengujian.



Gambar 5. Perancangan Sistem untuk Dilakukan Pengujian.



Gambar 6 Tampilan tulisan "LoRa Transmitter Is Shutting Down" di LCD LoRa Receiver Arduino UNO

Gambar 6. Perancangan Sistem untuk Dilakukan Pengujian.

Table 1. *Delay* (Waktu Pengiriman) Data LoRa

Delay (Waktu pengiriman)				
No.	Jarak	Waktu Akhir	Waktu Awal	Durasi
1.	5 Meter	27.967 Detik	23.950 Detik	4.017 Detik
2.	10 Meter	56.367 Detik	52.263 Detik	4.132 Detik
3.	15 Meter	49.765 Detik	45.189 Detik	4.576 Detik
4.	20 Meter	18.429 Detik	13.828 Detik	4.601 Detik

dan lamanya waktu proses pengiriman. Berikut adalah rumus untuk menentukan nilai waktu tunda (*delay*) pada LoRa.

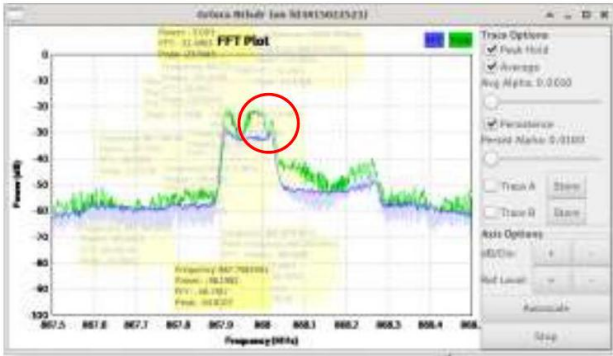
$$Delay = WaktuAkhir - WaktuMulai \quad (1)$$

Setelah dilakukan perhitungan dengan cara di atas maka hasilnya adalah sebagai berikut: 1.

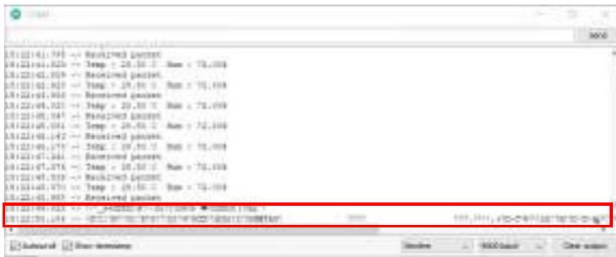
Pada tabel 1 terlihat lamanya *Delay* (waktu pengiriman) pada LoRa. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak antara LoRa Transmitter dan LoRa Receiver maka semakin lama waktu pengiriman yang dibutuhkan, hal ini terlihat pada baris ke 1-4 pada tabel di atas. Sedangkan pada tabel 5-6 tidak menampilkan durasi *delay* pada LoRa karena sinyal tidak terbaca. Untuk mengetahui akurasi (validitas) pada frekuensi yang di kirim LoRa Transmitter ke LoRa Receiver dilakukan

Table 2. Validitas Frekuensi pada LoRa Receiver

Validitas Frekuensi LoRa pada LoRa Receiver			
Jarak	Presentase	Karakter	Nilai (%)
5 Meter			
10 Meter	100%	28 Karakter	0.035%
15 Meter			
20 Meter			



Gambar 7. Grafik Frekuensi LoRa.



Gambar 8. Serial Monitor Arduino Uno LoRa Setelah terjadi paket loss.

perhitungan dengan menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Validitas} = \frac{\text{Presentase (100\%)}}{\text{Akurasi (LoRa Receiver)}} \quad (2)$$

Dari rumus diatas didapatkan hasil perhitungan nilai validitas frekuensi yang diterima antena LoRa Receiver sebagai berikut: 2. Hasil perhitungan validitas frekuensi yang diterima oleh LoRa Receiver ditunjukkan pada tabel 2 terlihat bahwa frekuensi LoRa yang diterima oleh LoRa Receiver dari LoRa Transmitter tidak mengalami perubahan pada nilai presentasi (%) dan jumlah karakter yang diterima. Pada jarak 5 meter hingga jarak 20 meter nilai persentasenya sama yaitu 0,035% dan jumlah karakter yang diterima juga sama yaitu 28 karakter. Pengujian kedua yaitu, pengujian sniffing. Ini dilakukan dengan mengetahui sinyal frekuensi yang digunakan pada LoRa. kemudian, dilakukan pengujian kekuatan sinyal untuk mencari kelemahan sinyal pada LoRa. berikut hasil penelitian yang dilampirkan dalam bentuk gambar sebagai berikut: 7. Pada gambar 7 menampilkan grafik proses sniffing (pencelitan Avg Alpha dan Persist Alpha di GrLoRa RtlSdr) pada sinyal di GrLoRa RtlSdr yang berhasil ditangkap oleh antena RTL-SDR yang berasal dari sinyal LoRa Transmitter. Pada gambar di atas ditunjukkan dengan tanda lingkaran merah.

Pada gambar 8 menampilkan data di serial monitor Arduino Uno pada LoRa Receiver ketika terjadi packet loss, yaitu paket yang hilang



Gambar 9 Tampilan LCD pada LoRa Receiver Arduino Uno setelah terjadi packet loss

Gambar 9. Tampilan LCD pada LoRa Receiver Arduino Uno setelah terjadi packet loss.

saat dilakukan pengiriman. Packet Loss terjadi setelah dilakukan pengaturan pada Avg Alpha dan Persist Alpha di GrLoRa RtlSdr pada sehingga terjadi tampilan karakter yang acak di serial monitor arduino. Pada gambar 8 ditunjukkan dengan kotak merah.

Pada gambar 9 menampilkan karakter acak di LCD Arduino Uno pada LoRa Receiver ketika terjadi packet loss. Sehingga, data suhu dan kelembaban tidak tampil di LCD LoRa Receiver Arduino Uno. Untuk mengetahui akurasi (validitas) pada frekuensi yang di kirim LoRa Transmitter ke Antena RTL-SDR dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Validitas} = \frac{\text{Presentase (100\%)}}{\text{Akurasi (RTL - SDR)}} \quad (3)$$

Dari rumus diatas didapatkan hasil perhitungan nilai validitas frekuensi LoRa yang diterima antena RTL-SDR dan LoRa Receiver sebagai berikut: 3. Pada tabel 3 menampilkan hasil dari perhitungan validasi frekuensi LoRa yang diterima antena RTL-SDR dalam bentuk jumlah karakter (huruf/angka) dan nilai persentase (%). Dari hasil perhitungan di atas dapat dilihat bahwa frekuensi LoRa yang diterima oleh antena RTL-SDR tidak mengalami perubahan nilai (%) dan perubahan jumlah karakter yang diterima. Ketika LoRa Transmitter diletakkan pada jarak 1 meter, maupun pada jarak 6 meter dengan antena RTLSDR, maka nilai persentase (%) dan jumlah karakter yang diterima tetap sama dan tidak pernah berubah, yaitu pada nilai 0,013% dan 72 karakter. Berikut adalah tabel akurasi jarak yang diukur dari tampilan GrLoRa RtlSdr 4. Pada tabel 4 merupakan nilai akurasi (db) ketika ditampilkan pada GrLoRa RtlSdr. Dari tabel tersebut dapat dilihat pada jarak 1 meter maka nilai akurasinya (dB) -56.75 dB. Sedangkan pada jarak 6 meter nilai akurasinya -58.25 dB. Semakin jauh jaraknya semakin rendah nilai akurasinya (db). Pengujian ketiga yaitu, pengujian encoding. Ini dilakukan untuk mengetahui grafik encoding pada sinyal LoRa. Kemudian, dibentuk dalam bentuk angka biner. Berikut adalah hasil penelitian yang dilampirkan dalam bentuk gambar sebagai berikut: 10.

Pada hasil pengujian terlihat sinyal LoRa dapat ditangkap oleh antena RTL-SDR, kemudian diteruskan ke GNURadio untuk menampilkan garis naik turun di Top Block GNURadio. Ketika garis naik turun muncul pada Top Block GNURadio, maka jika dibentuk dalam angka hasilnya adalah "101111111111", ini merupakan angka dalam bentuk biner. Pengujian keempat adalah pengujian parsing. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kode hexadesimal pada LoRa. berikut hasil penelitian yang dilampirkan dalam gambar adalah sebagai berikut: 11. Pada hasil pengujian parsing terlihat pada gambar 11 bahwa, sinyal dapat di parsing (dipecah) menjadi bentuk angka hexadesimal. Sehingga muncul tampilan kombinasi antara angka dan huruf. Pengujian terakhir yaitu pengujian decoding. Ini dilakukan untuk mengetahui kode dalam bentuk text pada sinyal LoRa. Pada hasil pengujian 12 tersebut terlihat bahwa pada blok LoRa Receiver terdapat script decoder pada pemrograman python. Sehingga, dapat menampilkan data suhu dan kelembaban di console terminal debian.

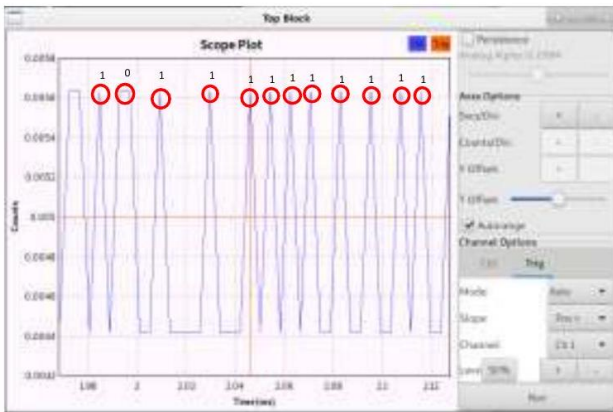
Table 3. Validitas Frekuensi LoRa pada antenna RTL-SDR

Validitas Frekuensi pada antenna RTL-SDR			
Jarak	Presentase	Karakter	Nilai (%)
1 Meter			
2 Meter			
3 Meter	100 %	72 Karakter	0.013%
4 Meter			
5 Meter			
6 Meter			

Tabel 3 Validitas Frekuensi LoRa pada antenna RTL-SDR

Table 4. Akurasi Power

Akurasi Power (RTL-SDR)		
No.	Jarak	Nilai (db)
1.	1 Meter	-56.75 dB
2.	2 Meter	-56.75db
3.	3 Meter	-57.05db
4.	4 Meter	-57.65db
5.	5 Meter	-57.95db
6.	6 Meter	-58.25db



Gambar 10. Grafik Frekuensi LoRa.



Gambar 11. Tampilan Hex Code pada parsing sinyal LoRa.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian. Penulis memberi kesimpulan bahwa LoRa dapat melakukan komunikasi data dengan jarak yang jauh. Lalu, pada antenna RTL-SDR dapat melakukan sniffing untuk menangkap



Gambar 12. Tampilan text pada decoding di console terminal debian.

sinyal LoRa, dan GNURadio untuk menampilkan data dari antenna RTL-SDR. Selain itu, pada pengujian Kuat Sinyal terjadi pelemahan sinyal pada LoRa karena Avg. Alpha dan Persist Alpha dapat dikecilkan di Grlora Rtlcdr. Sementara, pada packet loss yaitu tidak menerima paket pada LoRa karena sinyal dikendalikan oleh antenna RTL-SDR untuk dilakukan pengecilan avg.alpha dan persist alpha. akurasi bit yang diterima LoRa dengan jumlah 28 karakter dan nilai presentase 0.035%. Sementara, pada antenna RTL-SDR akurasi bit yang diterima dengan jumlah 72 Karakter dan nilai presentase 0.013%.

Daftar Pustaka

1. Sekarningrum A. Arduino Adalah: Definisi, Kelebihan dan Kekurangan Beserta 6 Jenisnya; 2022. [Online]. [Accessed on: DD Month YYYY]. Available from: <https://www.ekrut.com/media/arduino-adalah>.
2. Pandi. LCD (Liquid Crystal Display); 2022. [Online]. [Accessed on: DD Month YYYY]. Available from: <https://elektronika-dasar.web.id/lcd-liquid-cristal-display/>.
3. Musbikin. Apa Itu Sensor DHT11 dan DHT22 serta Perbedaannya; 2020. [Online]. [Accessed on: DD Month YYYY]. Available from: <http://www.musbikhin.com/apa-itu-sensor-dht11-dan-dht22-serta-perbedaannya/>.
4. Opik. Mengenal I2C di Dunia IoT – My Notes — OPIKdesign; 2020. [Online]. [Accessed on: DD Month YYYY]. Available from: <https://notes.opikdesign.com/index.php/2020/08/17/iot-robot/mengenal-i2c-di-dunia-iot/>.
5. Nobel. Mengenal RTL SDR - NOBEL.WEB.ID; 2020. [Online]. [Accessed on: DD Month YYYY]. Available from: <https://www.nobel.web.id/2020/06/mengenal-rtl-sdr.html>.
6. Angriawan R. Sistem Pelacak Lokasi Sapi dengan Sistem Komunikasi LoRa. Inspiration: Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi. 2019;9(1):33-9.
7. Batong AR, Murdiyat P, Kurniawan AH. Analisis Kelayakan LoRa Untuk Jaringan Komunikasi Sistem Monitoring Listrik Di Politeknik Negeri Samarinda. PoliGrid. 2020;1(2):11. Available from: <http://e-journal.polnes.ac.id/index.php/poligrd/article/view/602>.

8. Jannah AW, Primananda R, Bhawiyuga A. Implementasi Protokol LoRa pada Akuisisi Data Sensor Perikanan menggunakan Drone Agent sebagai Node Perantara. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*. 2020;4(1):390-6. Available from: <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/692>.
9. Simbolon MPS, Wijanarko H, Nakul F, Mahdaliza R. Penerapan Komunikasi Nirkabel LoRa pada Sistem Pencatat Kehadiran Portabel. *Journal of Applied Electrical Engineering*. 2019;5(2):30-5.
10. Widiyanto ED, Faizal AA, Eridani D, Augustinus RDO, Pakpahan MS. Simple LoRa Protocol: Protokol Komunikasi LoRa Untuk Sistem Pemantauan Multisensor. *TELKA - Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi Dan Kontrol*. 2019;5(2):83-92. Available from: <http://telka.ee.uinsgd.ac.id/index.php/TELKA/article/view/telka.v5n2.83-92>.