

ALAT UKUR SINYAL LORA UNTUK MENGETAHUI JANGKAUAN ANTARA *END DEVICE* DENGAN GATEWAY

Delfin Daffa Pebrian^{1*}

¹Telkom University Purwokerto; Jl. DI Panjaitan No.128, Karangreja, Purwokerto, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia; (0281) 641629

Received: 14 Desember 2024

Accepted: 14 Januari 2025

Published: 20 Januari 2025

Keywords:

Internet of Things; LoRa;
LoRaWAN; Chirpstack;
Openremote; MQTT.

Correspondent Email:

delfindaffa@gmail.com

Abstrak. Alat ukur sinyal LoRa dirancang untuk mengetahui luas jangkauan antara *end device* dan *Gateway* di suatu daerah. Alat ini menggunakan mikrokontroler Sseed dan *Gateway* berbasis modul LoRa dengan Raspberry Pi 4, dilengkapi dengan sensor suhu, kelembapan, dan cahaya, serta aplikasi monitoring berbasis web. Alat ukur ini menampilkan informasi penting seperti nilai sensor, kekuatan sinyal LoRa, koordinat GPS, dan waktu pengukuran. Data tersebut dapat diakses melalui aplikasi monitoring yang dibangun menggunakan platform OpenRemote. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa jangkauan maksimal sinyal LoRa dengan perangkat yang dibuat dapat mencapai lebih dari 115 meter pada *Spreading Factor* 12. Selain itu, pemilihan *Spreading Factor* yang tepat merupakan faktor kunci dalam mengoptimalkan kinerja sistem LoRaWAN, dengan mempertimbangkan keseimbangan antara jangkauan dan kualitas sinyal yang dibutuhkan.

Abstract. The LoRa signal measurement device is designed to determine the coverage area between an end device and a Gateway in a specific region. This device utilizes a Sseed microcontroller and a Gateway based on the LoRa module with a Raspberry Pi 4, equipped with temperature, humidity, and light sensors, as well as a web-based monitoring application. The measurement device displays important information such as sensor values, LoRa signal strength, GPS coordinates, and measurement time. This data can be accessed through the monitoring application built using the OpenRemote platform. Measurement results indicate that the maximum range of the LoRa signal with the created device can reach over 115 meters at a *Spreading Factor* of 12

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini, teknologi terus berkembang dengan pesat. Perkembangan teknologi ini dapat memberikan dampak positif di berbagai bidang. Berkembangnya *Internet of Things* (IoT) di Indonesia membawa perubahan dalam jaringan yang dibutuhkan perangkat IoT untuk dapat berkomunikasi dan bertukar data atau informasi antara sensor dan aktuator, serta mendorong konektivitas antara manusia dengan suatu objek [1].

Salah satu penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) yaitu dengan perangkat bernama *Long Range* (LoRa) adalah teknologi komunikasi nirkabel yang memfasilitasi

transmisi data dari jarak yang cukup jauh. LoRa termasuk dalam kategori *Low Power Wide Area Network* (LPWAN), memungkinkan transfer data dengan jarak yang luas dengan tetap menjaga konsumsi daya rendah. Pada bidang IoT, LoRa dapat diterapkan pada suatu sistem pengawasan, seperti sistem pengawasan lampu jalan, pengawasan penyimpanan makanan, tanah longsor, cagar budaya dan lain sebagainya [2]. Dengan adanya LoRa, sensor-sensor dapat dikontrol dan dimonitoring melalui berbagai *interface* seperti *website*, aplikasi *smartphone* maupun melalui panel kontrol. Selain itu LoRa mempunyai fitur *Geolocation* yang berfungsi untuk mendeteksi

keberadaan suatu benda [3]. Penerapan LoRa tidak akan optimal jika tidak terhubung dengan internet agar dapat diakses dimana saja. LoRaWAN merupakan salah satu protokol komunikasi LoRa yang dapat menghubungkan perangkat LoRa ke jaringan internet dengan berbagai komunikasi protokol seperti MQTT, HTTPS, TCP/IP, UDP dan lain-lain. Protokol komunikasi yang biasa digunakan dengan LoRaWAN adalah MQTT, protokol MQTT dipilih karena mempunyai kelebihan ringan dalam melakukan proses pengiriman data [4].

Selain itu komunikasi LoRa memiliki jangkauan yang luas serta kelebihan dalam menghubungkan perangkat yang banyak memungkinkan untuk mengontrol dan memonitor perangkat yang terhubung [5]. Sehingga untuk mengetahui luas jangkauan komunikasi LoRa tersebut diperlukan sebuah alat yang dapat digunakan sebagai alat ukur untuk mengetahui kekuatan sinyal LoRa yang akan diukur. Biasanya pengukuran sinyal LoRa dilakukan dengan mengukur kekuatan sinyal dari proses pengiriman data dari *End Device* dengan *Gateway*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Internet of Things (IoT)*

Internet of Things umumnya dikenal sebagai IoT, adalah sistem tertanam yang bertujuan untuk memperluas penggunaan konektivitas internet yang selalu aktif. Fungsi seperti pertukaran data, kendali jarak jauh dan lain-lain. Juga mencakup objek nyata seperti makanan, elektronik, sensor, dan perangkat yang terhubung [6]. IoT terdiri dari beberapa lapisan arsitektur, yaitu *Perception Layer* yang mencakup sensor dan perangkat seperti kamera dan robot, *Network Layer* yang menggunakan berbagai jenis jaringan seperti WiFi, Bluetooth, dan LoRa untuk menghubungkan perangkat, *Processing Layer* yang bertanggung jawab atas pengolahan data dan pengambilan keputusan, serta *Application Layer* yang memenuhi kebutuhan spesifik pengguna akhir melalui aplikasi yang relevan [7] [8].

2.2. *Long Range (LoRa)*

LoRa merupakan sistem telekomunikasi jarak jauh yang memanfaatkan frekuensi radio (RF) dengan penggunaan daya rendah dan pengiriman data yang kecil [9]. LoRa

termasuk kedalam teknologi *Low Power Wide Area Network (LPWAN)* yang memiliki kemampuan transmisi jarak jauh, efisiensi energi dan pengiriman data yang relatif kecil [10]. LoRa beroperasi pada pita frekuensi *Industrial, Scientific, and Medical (ISM)* tidak berlisensi seperti pada frekuensi 433MHz, 868MHz, 915MHz, dan 923 MHz tergantung pada regulasi masing-masing wilayah [11].

2.3. *Long Range Wide Area Network (LoRaWAN)*

LoRaWAN mencakup protokol komunikasi dan arsitektur sistem untuk jaringan sementara lapisan fisik LoRa, yang memungkinkan cakupan komunikasi jarak jauh. Protokol komunikasi LoRaWAN dapat digunakan untuk implementasi konsep IoT [12]. LoRa didefinisikan dalam lapisan *Physical (PHY)*, sedangkan LoRaWAN didefinisikan dalam lapisan *Medium Access Control (MAC)*. Oleh karena itu, LoRaWAN menentukan arsitektur sistem, protokol komunikasi, dan layanan lainnya seperti antarmuka untuk lapisan atas jaringan. LoRa memiliki format modulasi yang unik yang diadopsi oleh Semtech dengan modulasi *Chirp Spread Spectrum (CSS)* dengan opsi untuk menambahkan *Spreading Factor (SF)* dan *Bandwidth* yang berbeda untuk mengoptimalkan modulasi guna memenuhi kebutuhan jangkauan dan kecepatan data sehingga dapat mencakup area yang luas [13]. Modulasi LoRa menggunakan *spreading factor (SF)* dari SF7 hingga SF12, di mana SF12 cocok untuk komunikasi jarak jauh dengan penguatan tinggi, sedangkan SF7 menawarkan penguatan rendah dengan laju data tinggi. LoRa juga menyediakan koneksi yang andal melalui pengkodean kesalahan yang dapat disesuaikan dengan *coding rate* 4/5, 4/6, 4/7, dan 4/8. *Bandwidth* dapat diatur menjadi 125 KHz, 250 KHz, dan 500 KHz, memungkinkan penyesuaian untuk berbagai pengaturan seperti *spreading factor*, *coding rate*, dan frekuensi [14].

2.4. *Protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)*

Protokol MQTT digunakan dalam IoT dengan model komunikasi *publish-subscribe*,

yang terdiri dari tiga komponen utama: *publisher*, *subscriber*, dan *message broker*. *Publisher* mengirimkan data sensor, sementara *subscriber* berlangganan data tersebut, dan *broker* menyampaikan pesan antara keduanya. Pesan dikirim ke *broker* dengan topik relevan, yang kemudian diteruskan kepada *subscriber* yang berlangganan. Model ini mendukung komunikasi efisien dalam skala besar dan beroperasi melalui TCP/IP, memerlukan transportasi data antara *client* dan *server* [15].

2.5. Gateway LoRa



Gambar 1 Gateway LoRa Dragino PG1301 Raspberry Pi [16]

Gateway LoRa adalah jembatan antara *wireless* sensor dan jaringan internet. Sensor terhubung ke Gateway melalui teknologi LoRa, dan Gateway terhubung ke *platform cloud* menggunakan internet [17]. Pada penelitian ini menggunakan Gateway LoRa Dragino PG1301 Raspberry Pi.

Tabel 1 Spesifikasi LoRa Gateway Dragino PG1301[16]

No	Kategori	Spesifikasi
1.	<i>Computing</i>	Raspberry Pi 4+
2.	<i>Frequency</i>	EU868
3.	<i>RX Sensitivity</i>	-142,5 dBm
4.	<i>TX Power</i>	27 dBm
5.	<i>Channels</i>	10 <i>Channels</i>
6.	<i>Power Supply</i>	5V – 1A
7.	<i>Antenna</i>	SMA antenna for LoRaWAN SMA antenna for GPS

2.6. End Device

End Device SenseCAP K1100, perangkat ini digunakan sebagai perangkat untuk mengukur kekuatan sinyal LoRa, Dimana terdapat sensor SHT40 dan sensor *Light* yang

digunakan sebagai data yang akan dikirimkan ke Gateway melalui modul Grove LoRa E5.



Gambar 2 End Device SenseCAP K1100 [18]

2.7. Chirpstack

ChirpStack adalah LoRaWAN *Network Server* yang bersifat *opensource* dan dapat digunakan untuk mengatur jaringan LoRaWAN pribadi atau publik. ChirpStack menyediakan antarmuka *web* untuk pengelolaan Gateway, perangkat, dan penyewa serta untuk mengatur integrasi data dengan penyedia *cloud*, *database*, dan layanan yang umum digunakan untuk mengelola data perangkat. ChirpStack menyediakan API berbasis gRPC yang dapat digunakan untuk mengintegrasikan atau memperluas fungsionalitas ChirpStack [19].

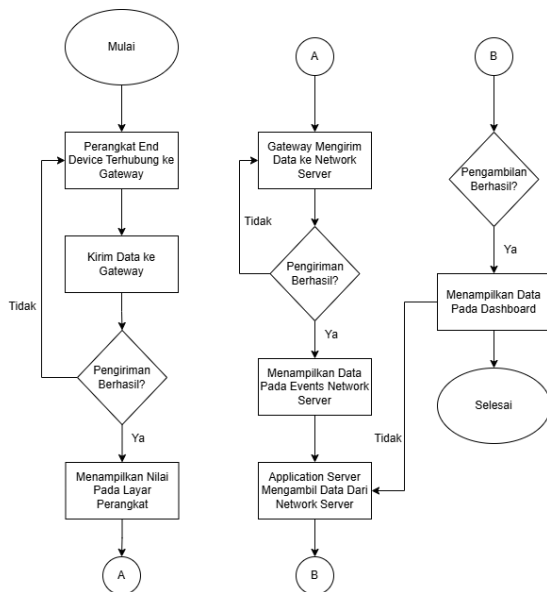
2.8. Openremote

Platform Openremote merupakan *Application Server*, yang berfungsi untuk mengintegrasikan semua data, sensor, dan kontrol untuk mengaksesnya secara terpusat, mengubah data menjadi informasi dan mendukung desain aplikasi (*mobile*) yang disesuaikan memonitoring perangkat *end device* melalui tampilan *dashboard* [20].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan Dragino PG1301 Raspberry Pi sebagai Gateway dan SenseCAP K1100 sebagai *End Device* untuk proses pengiriman data ke Gateway. Pengiriman data dari *End Device* (kondisi *Uplink*) dan pengiriman data dari Gateway (*Downlink*) dapat dilakukan dan ditampilkan secara *real time* menggunakan *platform* IoT Openremote.

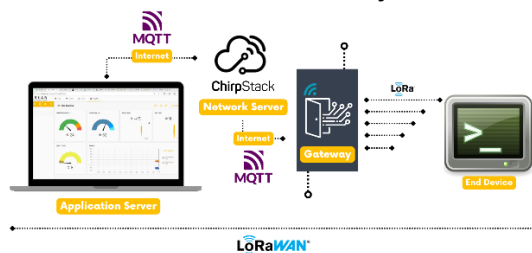
3.1. Flowchart Alat Ukur Sinyal LoRa



Gambar 3 Flowchart Alat Ukur Sinyal LoRa

Cara kerja dari alat ukur sinyal LoRa yaitu pertama, Ketika perangkat dinyalakan modul LoRa akan mencoba untuk *join server* terlebih dahulu atau mencoba terhubung dengan *Gateway* dengan frekuensi yang sama, setelah terhubung perangkat akan mengirimkan data dari sensor-sensor yang terhubung seperti (Suhu, Kelembaban dan Cahaya), jika pengiriman berhasil maka pada layar perangkat akan menampilkan nilai dari data-data sensor yang dikirimkan sebelumnya. Selain itu perangkat juga menampilkan nilai RSSI (kekuatan sinyal), SNR (sinyal terhadap *noise*) dan koneksi yang didapat dari proses pengiriman data-data sensor, data sinyal tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk mengetahui luas jangkauan dari *Gateway*. Jadi dengan melihat data sinyal dan status koneksi maka pengguna dapat mengetahui apakah perangkat *end device* ini dapat terhubung pada *Gateway* jika dilakukan pengukuran disuatu wilayah yang ingin diukur.

3.2. Arsitektur Alat Ukur Sinyal LoRa



Gambar 4 Arsitektur Alat Ukur Sinyal LoRa

Pada Gambar 4, arsitektur alat ukur sinyal LoRa telah memenuhi kriteria arsitektur LoRaWAN. *Application Server* berfungsi untuk memantau perangkat sinyal LoRa melalui *dashboard* Openremote. *Network Server* terhubung dengan *Application Server* Openremote melalui jaringan internet dengan menggunakan protokol komunikasi MQTT. *Network Server* terhubung dengan *Gateway* melalui koneksi internet secara nirkabel. Fungsi *Network Server* adalah untuk mengolah dan meneruskan data yang dikirimkan dari *Gateway* (*Uplink*) maupun data dari *Application Server* (*Downlink*). Perangkat *Gateway* berfungsi untuk meneruskan data dari *Network Server* ke perangkat alat ukur sinyal LoRa, dan sebaliknya. Namun, pengiriman data dari *Network Server* ke *Gateway* dilakukan melalui internet menggunakan komunikasi MQTT, sedangkan pengiriman data dari perangkat alat ukur sinyal LoRa dilakukan melalui komunikasi LoRa.

3.3. Cakupan Pengujian



Gambar 5 Cakupan Pengujian

Cakupan pengujian dilakukan di Kabupaten Bekasi, yang memiliki kondisi daerah dengan kepadatan bangunan yang lumayan dan beberapa halangan seperti pohon. Pengujian dilakukan pada empat jarak tertentu, yaitu 20, 60, 95, dan 115 meter, untuk mengevaluasi performa komunikasi dalam berbagai kondisi lingkungan. Selain itu, pengujian ini bertujuan untuk menganalisis dampak dari hambatan fisik terhadap kekuatan sinyal yang diterima, sehingga dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang efektivitas teknologi LoRa dalam skenario perkotaan. Hasil dari pengujian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna untuk pengembangan aplikasi IoT di daerah tersebut.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Tampilan Perangkat Alat Ukur Sinyal LoRa



Gambar 6 Alat Ukur Sinyal LoRa

Pada alat ukur sinyal LoRa terdapat beberapa nilai yang ditampilkan pada layar TFT ketika alat terhubung ke *Gateway*, pertama nilai sensor SHT40 (*Temperature* dan *Humidity*), kedua nilai sinyal LoRa (RSSI dan SNR), ketiga nilai sensor cahaya, keempat status koneksi dan yang terakhir nilai data *Downlink* yang bisa dikirimkan dari *Network Server*.

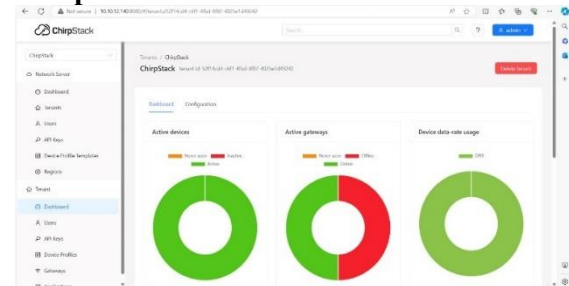
4.2. Hasil Tampilan Perangkat Gateway



Gambar 7 Gateway Dragino PG1301

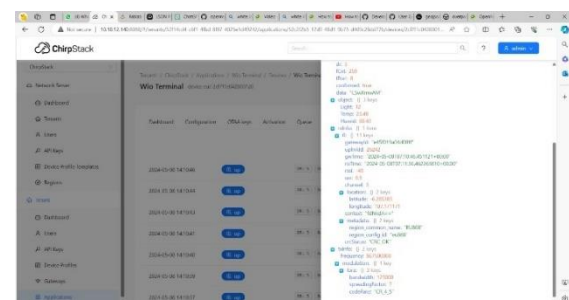
Perangkat *Gateway* digunakan untuk menerima data dari *end device* dan meneruskan data ke *network server*. Frekuensi yang digunakan pada *Gateway* yaitu 868 MHz dengan menggunakan 10 frekuensi *channel*, sehingga nantinya perangkat dapat menerima dan mengirimkan data menggunakan 10 *channel* frekuensi yang berbeda sesuai dengan kebutuhan. Hal ini dapat mengefisienkan penggunaan *channel* frekuensi pada *Gateway*. Selain itu, kemampuan *multi-channel* ini juga memungkinkan sistem untuk mengurangi kemungkinan gangguan sinyal dan meningkatkan keandalan komunikasi data dalam jaringan.

4.3. Hasil Tampilan Network Server Chirpstack



Gambar 8 Tampilan Network Server Chirpstack

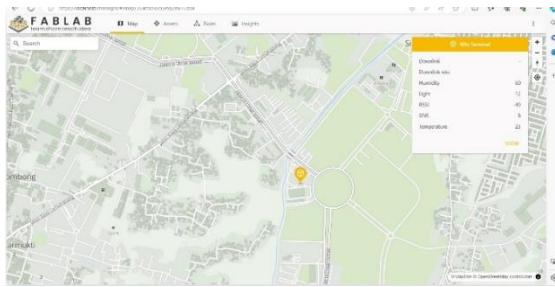
Network Server yang digunakan yaitu Chirpstack, pada gambar diatas merupakan tampilan ketika perangkat alat ukur sinyal LoRa dan *Gateway* terhubung, dimana ketika terhubung maka indikator akan berwarna hijau, tidak terhubung berwarna merah dan belum pernah terhubung berwarna oranye. Selain itu dapat terlihat juga ADR (*Adaptive Data Rate*) yang digunakan, ADR memungkinkan Chirpstack mengontrol kecepatan data dan daya tx perangkat, sehingga perangkat menggunakan lebih sedikit *airtime* dan lebih sedikit daya untuk mentransmisikan jumlah data yang sama. Hal ini tidak hanya bermanfaat untuk konsumsi energi perangkat, tetapi juga mengoptimalkan spektrum.



Gambar 9 Tampilan Log Events Chirpstack

Pada Gambar 9 merupakan tampilan *Log Events* pada Chirpstack, dimana dapat dilihat nilai-nilai data yang dikirimkan oleh *Gateway* seperti, nilai dari sensor-sensor (*Temperature*, *Humidity*, *Light*), nilai RSSI dan SNR, serta nilai frekuensi, *bandwidth*, *spreading factor*, dan *code rate* yang digunakan perangkat alat ukur sinyal LoRa.

4.4. Hasil Tampilan Application Server Openremote



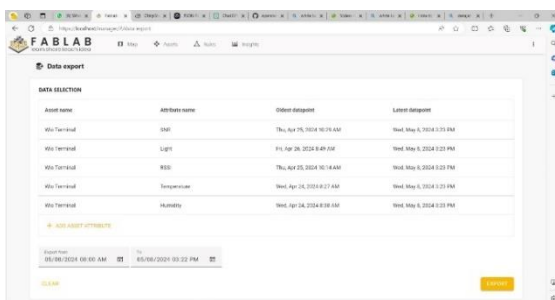
Gambar 10 Tampilan Map Pada Openremote

Pada tampilan *map* dapat terlihat lokasi dari perangkat alat ukur sinyal LoRa dan ketika *node* perangkat diklik maka akan menampilkan nilai-nilai sensor dan nilai sinyal LoRa (RSSI, SNR) yang dapat dilihat secara *real time*.



Gambar 11 Tampilan Dashboard Pada Openremote

Pada Gambar 11 merupakan tampilan dari *Dashboard* perangkat alat ukur sinyal LoRa, dimana terdapat beberapa nilai yang ditampilkan yaitu nilai *Temperature*, *Humidity*, *Light*, RSSI dan SNR. Serta menampilkan nilai dari sinyal (RSSI, SNR) dalam bentuk grafik sehingga dapat melihat secara *traffic* apakah mendapatkan nilai yang relatif bagus atau buruk, lalu grafik dapat dilihat berdasarkan waktu, sehingga memudahkan untuk melihat nilai berdasarkan waktu yang diinginkan.



Gambar 12 Tampilan Export Data Pada Openremote

Pada Openremote terdapat fitur untuk *export* data berdasarkan rentang waktu yang diinginkan dan dapat memilih data apa saja yang akan di*export*, sebagai contoh untuk perangkat alat ukur sinyal LoRa dapat *export* data untuk nilai *Temperature*, *Humidity*, RSSI dan SNR.

4.5. Hasil Pengukuran Alat Ukur Sinyal LoRa

Pengukuran dilakukan pada kondisi NLOS (*Non-Line of Sight*), dimana *Gateway* berada didalam rumah. Perangkat disetting dengan menggunakan frekuensi 868 Mhz dan *bandwidth* 125 khz.

Tabel 2 Pengujian Alat Ukur Sinyal LoRa

SF	Jarak (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)
7	20	-57	13
	60	-101	4
	95	-103	5
	115	Tidak Terhubung	Tidak Terhubung
12	20	-77	5
	60	-100	5
	95	-106	-3
	115	-105	1

Berdasarkan data pengujian yang disajikan pada Tabel 2, dapat dilihat adanya perbedaan karakteristik sinyal LoRa pada penggunaan *Spreading Factor* (SF) yang berbeda, yaitu SF 7 dan SF 12. Pada jarak 20 meter, pengukuran dengan SF 7 menghasilkan nilai RSSI sebesar -57 dBm dan SNR sebesar 13 dB. Sementara pada pengukuran dengan SF 12 pada jarak yang sama, didapatkan nilai RSSI sebesar -77 dBm dan SNR sebesar 5 dB. Ketika jarak pengukuran ditingkatkan, pada SF 7 kekuatan sinyal (RSSI) dan rasio sinyal-noise (SNR) semakin meningkat. Namun, pada jarak 115 meter, perangkat sudah tidak dapat terhubung ke *Gateway*, menandakan bahwa jangkauan sinyal dengan SF 7 terbatas. Di sisi lain, pada pengukuran dengan SF 12, sinyal masih dapat terhubung ke *Gateway* pada jarak 115 meter, meskipun dengan nilai RSSI yang lebih rendah, yaitu -105 dBm, dan SNR yang lebih kecil, yaitu 1 dB. Hal ini menunjukkan

bahwa penggunaan SF 12 dapat memberikan jangkauan yang lebih luas, meskipun dengan kualitas sinyal yang lebih rendah. Perbedaan karakteristik ini menunjukkan bahwa pemilihan *Spreading Factor* yang tepat merupakan salah satu kunci dalam mengoptimalkan kinerja sistem LoRaWAN, dengan mempertimbangkan keseimbangan antara jangkauan dan kualitas sinyal yang dibutuhkan.

5. KESIMPULAN

- a. Pemilihan *Spreading Factor* yang tepat merupakan salah satu faktor kunci dalam mengoptimalkan kinerja sistem LoRaWAN, dengan mempertimbangkan keseimbangan antara jangkauan dan kualitas sinyal yang dibutuhkan
- b. Penggunaan SF 12 dapat memberikan jangkauan yang lebih luas, meskipun dengan kualitas sinyal yang lebih rendah. Pada jarak 115 meter, sinyal masih dapat terhubung ke *Gateway*, meskipun dengan nilai RSSI yang lebih rendah dan SNR yang lebih kecil.
- c. *Platform* Openremote memberikan kemudahan bagi pengguna melalui tampilan *dashboard* dan fitur *export* data pada Openremote untuk memantau dan menganalisis kinerja sistem LoRaWAN secara komprehensif, mulai dari data sensor hingga kualitas sinyal LoRa yang diukur secara *real time*.
- d. Pada jarak 20 meter, pengukuran dengan SF 7 menghasilkan nilai RSSI yang lebih tinggi (-57 dBm) dibandingkan dengan SF 12 (-77 dBm). Semakin jauh jarak, nilai RSSI semakin menurun pada kedua SF, namun penurunan pada SF 7 lebih signifikan.
- e. Nilai SNR pada SF 12 lebih kecil dibanding dengan nilai SNR pada SF 7, serta semakin jauh jarak, nilai SNR semakin menurun pada kedua SF, namun penurunan pada SF 12 lebih signifikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Gading Reno Sasmito selaku mentor

pembimbing program MSIB dari Fablab Jababeka yang telah membimbing dalam pelaksanaan program magang di PT Jababeka Infrastruktur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. R. Zain, Siti Azka Rahmawati Hudi, and I. Neforawati, "Analisis Pengiriman Data dari LoRa Gateway ke Network Server," *Multinetics*, vol. 7, no. 1, pp. 21–29, 2022, doi: 10.32722/multinetics.v7i1.3971.
- [2] Fikri Santoso Harjowinoto, Musayyanah, Pauladie Susanto, Harianto, Yosefine, and Triwidayastuti, "Unjuk Kerja Transmisi Data LoRa pada Node yang Bergerak," *J. Comput. Electron. Telecommun.*, vol. 3, no. 1, 2022, doi: 10.52435/complete.v2i1.205.
- [3] D. S. Putra, N. Bogi, and R. Mayasari, "Rancang Bangun Smart Lighting Dan Monitoring Kondisi Lampu Jalan Berbasis Wireless Sensor Network Menggunakan Lora Design of Smart Lighting and Monitoring Condition of Road Lights Based on Wireless Sensor Network Using Lora," *e-Proceeding Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 4748–4755, 2019.
- [4] D. W. Firmansyah, M. H. H. Ichsan, and A. Bhawiyuga, "Pengembangan Gateway LoRa-MQTT untuk Transmisi Data Dua Arah antara Wireless Sensor Network dan Cloud Server," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. e-ISSN*, vol. 2548, no. 1, p. 964X, 2020.
- [5] F. Turcinovic, J. Vukovic, S. Bozo, and G. Sisul, "Analysis of LoRa Parameters in Real-World Communication," *Proc. Elmar - Int. Symp. Electron. Mar.*, vol. 2020-Septe, no. December, pp. 87–90, 2020, doi: 10.1109/ELMAR49956.2020.9219028.
- [6] F. Susanto, N. K. Prasiani, and P. Darmawan, "Implementasi Internet of Things Dalam Kehidupan Sehari-Hari," *J. Imagine*, vol. 2, no. 1, pp. 35–40, 2022, doi: 10.35886/imagine.v2i1.329.
- [7] J. Wan, Z. Shu, F. Agriculture, D. Li, and S. Wang, "Software-Defined Industrial Internet of Things," *IEEE Sensors*, no. October, 2016, doi: 10.1109/JSEN.2016.2565621.
- [8] J. Sengupta, S. Ruj, and S. Das, "Journal of Network and Computer Applications A Comprehensive Survey on Attacks , Security Issues and Blockchain Solutions for IoT and IIoT," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 149, no. October 2019, p. 102481, 2020, doi: 10.1016/j.jnca.2019.102481.
- [9] H. Muchtar, I. Prasetyo, and H. Isyanto, "Desain Pembuatan Alat Pemantauan Temperatur dan Kelembaban dengan Menggunakan Teknologi LoRa," vol. 5, no. 2,

- pp. 145–150.
- [10] A. Yanziah, S. Soim, and M. M. Rose, “Analisis Jarak Jangkauan Lora Dengan Parameter Rssi Dan Packet Loss Pada Area Urban,” *J. Teknol. Technoscience*, vol. 13, no. 1, pp. 27–34, 2020.
 - [11] W. Abdillah, D. Saripurna, and S. Yakub, “Analisis Kinerja LoRa (Long Range) berdasarkan Jarak dan Spreading Factor pada Area Rural,” vol. 4, no. 4, pp. 1–13, 2021.
 - [12] A. M. Fathurrohman, M. Arman, A. Setyawan, and W. S. Ayu, “Desain dan Implementasi Arduino Uno dan Raspberry Pi pada Penggunaan LoRaWAN untuk Sistem Monitoring Temperatur dan Kelembapan,” pp. 242–246, 2023.
 - [13] J. P. Tovar-soto, C. F. Pareja-figueroa, and L. C. Gutiérrez-martínez, “Performance evaluation of LoRa technology for implementation in rural areas,” 2021.
 - [14] Semtech Corporation, “LoRa and LoRaWAN A Technical Overview,” pp. 218–230, 2019, doi: 10.1201/9781003042600-16.
 - [15] R. F. Pratama, R. S. R. W, and A. N. Pramudhita, “Perancangan Dan Implementasi Protokol Mqtt Pada Sistem Parkir Cerdas Berbasis Iot,” *Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 11, no. 3, pp. 475–483, 2023.
 - [16] Dragino, “PG1301 LoRaWAN Concentrator User Manual,” 2019. [Online]. Available: https://www.dragino.com/downloads/downloads/LoRa_Gateway/PG1301/PG1301_UserManual_v1.0.6.pdf
 - [17] A. I. Hidayat, “Internet of Things Sistem dan Aplikasi,” *Nobel Press*, 2023, [Online]. Available: <https://www.gsma.com/iot/search/internet-of-things/>
 - [18] Seeed Studio, “Grove Temp&Humi Sensor (SHT40).” [Online]. Available: <https://wiki.seeedstudio.com/K1100-Temp-Humi-Sensor-Grove-LoRa-E5/>
 - [19] ChirpStack, “The ChirpStack project.” Accessed: Nov. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.chirpstack.io/docs/>
 - [20] OpenRemote, “About OpenRemote.” Accessed: Jun. 01, 2024. [Online]. Available: <https://www.openremote.io/about/>