

Analisa Performansi Komunikasi Lora (Long Range) pada Sistem Monitoring Buoy di Laut

Nihayatus Sa'adah¹, Aries Pratiarso², Faridatun Nadziroh³, Nailul Muna⁴, Karimatus Nisa'⁵, I Gede Puja Astawa⁶, Tri Budi Santoso⁷, Sultan Syahputra Yulianto⁸

nihayatus@pens.ac.id, aries@pens.ac.id, faridatun@pens.ac.id, nailul@pens.ac.id, nisa@pens.ac.id, puja@pens.ac.id, tribudi@pens.ac.id, sultan.syahputra.y@gmail.com

^{1,2,3,4,5,6,7,8} Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Informasi Artikel

Diterima : 22 Okt 2024
Direvisi : 28 Okt 2024
Disetujui : 3 Des 2024

Kata Kunci

LoRa, Internet of Things (IoT), Buoy, SNR (Signal-to-Noise Ratio), RSSI (Received Signal Strength Indicator)

Abstrak

LoRa (Long Range) adalah teknologi utama dalam jaringan area luas daya rendah (LPWAN) yang cocok untuk aplikasi Internet of Things (IoT). Dirancang untuk komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah, LoRa digunakan dalam sistem monitoring buoy navigasi, alat bantu penting di perairan laut. Karena perannya yang krusial, diperlukan sistem monitoring berbasis IoT untuk menjaga fungsi buoy. LoRaWAN, dengan jangkauan hingga 15 kilometer pada kondisi line of sight (LoS), digunakan untuk konektivitas perangkat IoT dalam sistem ini. Pada penelitian ini, komunikasi LoRa 915 MHz digunakan pada sistem monitoring buoy, dan performansinya dinilai berdasarkan parameter signal-to-noise ratio (SNR) dan received signal strength indicator (RSSI). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa rata-rata nilai RSSI lebih besar dari -120 dB dan rata-rata nilai SNR lebih besar dari -20 dB, menunjukkan LoRa layak digunakan sebagai jaringan komunikasi dalam sistem monitoring buoy.

Keywords

LoRa, Internet of Things (IoT), Buoy, SNR (Signal-to-Noise Ratio), RSSI (Received Signal Strength Indicator)

Abstract

LoRa (Long Range) is a leading technology in Low Power Wide Area Networks (LPWAN), ideal for Internet of Things (IoT) applications. Designed for long-range communication with low power consumption, LoRa is used in monitoring navigation buoys, critical aids in marine waters. An IoT-based monitoring system is essential for maintaining buoy functionality. LoRaWAN, with a range of 15 kilometers under line of sight (LoS) conditions, is employed for IoT connectivity in this system. In this study, 915 MHz LoRa communication was used in buoy monitoring, with performance evaluated based on signal-to-noise ratio (SNR) and received signal strength indicator (RSSI). Measurements showed an average RSSI greater than -120 dB and an average SNR greater than -20 dB, indicating LoRa's suitability as a communication network for buoy monitoring systems.

A. Pendahuluan

Internet of Things (IoT) sekarang dapat digunakan di banyak bidang, seperti di lingkungan kelautan, berkat kemajuan dalam teknologi nirkabel. Dalam penelitian ini, sistem monitoring nirkabel dikembangkan untuk memonitoring buoy, yang terdiri dari node sensor, gateway, dan server. Jaringan komunikasi antara node sensor dengan gateway dibangun menggunakan teknologi LoRa, sebuah teknologi yang cocok untuk komunikasi nirkabel di Internet of Things (IoT). Salah satu aplikasi dalam bidang ini adalah pemantauan buoy di laut. Buoy dapat memiliki berbagai fungsi, seperti navigasi dan penanda bahaya, dan menjadi pelengkap penting untuk Sistem Satelit Navigasi Global (GNSS) dan peta laut guna menjaga keselamatan di laut. Namun, buoy bisa hilang karena pencurian, tabrakan kapal, atau kondisi cuaca buruk. Maka dari itu muncul ide untuk menanamkan sebuah sistem pada buoy, sehingga buoy ini dapat secara otomatis melaporkan lokasinya. Sistem tertanam harus mandiri dan sebaiknya bertahan selama masa pakai buoy itu sendiri, karena mengganti baterai buoy di laut memakan biaya yang mahal. Buoy bisa dilengkapi dengan berbagai sensor yang berguna untuk aplikasi seperti penelitian ilmiah dan pemantauan lalu lintas. Tentunya, buoy harus terhubung ke jaringan nirkabel untuk melaporkan lokasinya. Jaringan satelit dan General Packet Radio Service (GPRS) telah terbukti berhasil diaplikasikan pada buoy. Pemanfaatan teknologi LoRa dalam sistem monitoring buoy di laut merupakan solusi potensial. Lora (Long Range) merupakan teknologi nirkabel yang digunakan untuk menjalin komunikasi jarak jauh. LoRa menggunakan modulasi chiro spread spectrum (CSS), yang menghemat daya lebih sedikit dibandingkan FSK namun secara signifikan meningkatkan komunikasi [1]. Lora memiliki keunggulan yaitu cakupan area yang luas namun konsumsi daya yang rendah sehingga pemanfaatan teknologi LoRa dalam sistem monitoring buoy di laut menjadi Solusi potensial untuk pengumpulan data dari node sensor. LoRa memiliki protokol komunikasi yaitu LoRaWAN. LoRaWAN adalah spesifikasi jaringan Low Power Wide Area Network (LPWAN), sebuah protokol jaringan sumber terbuka yang dikelola dan diperbarui oleh LoRa Alliance. LoRaWAN mendukung transmisi pesan yang belum dikonfirmasi dan pesan yang dikonfirmasi. Hal ini meningkatkan integritas dan akurasi data serta mengurangi kehilangan paket [2]. LoRa sebagai teknologi LPWAN, mampu menyediakan komunikasi jarak jauh dengan sensitivitas tinggi dan dapat menangani banyak node dengan satu penerima. Saat digunakan bersama Wi-Fi, kinerja LoRa dipengaruhi oleh jarak dari gateway dan path loss akibat struktur bangunan [3].

Performansi komunikasi LoRa dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, parameter yang dapat mempengaruhi komunikasi antara lain RSSI, SNR, dan ESP. RSSI (Receive Signal Strength Indicator) adalah indikator kekuatan sinyal yang diterima dan dapat mengukur kualitas sinyal dalam satuan decibel (dB). RSSI menunjukkan tingkat daya minimum dengan BER dimana penerima dapat menerima sinyal [4]. Menurut standar, nilai RSSI minimum adalah -120 dB agar penerima LoRa dapat memproses data yang diterima [5]. Signal to Noise Ratio (SNR) adalah rasio kekuatan sinyal terhadap noise, yang dapat menjadi ukuran kualitas sinyal. Semakin tinggi nilai SNR, maka semakin baik kualitas sinyalnya. Semakin kuat noise maka nilai SNR semakin rendah [6]. LoRa dapat beroperasi pada SNR dibawah 0 dB [2]. Nilai ESP merupakan rata-rata pada setiap pita

frekuensi untuk memperkirakan kualitas transmisi data yang dikirim baik pada uplink (dari perangkat gateway), maupun downlink (dari gateway ke perangkat) [7].

Beberapa penelitian sebelumnya telah menganalisa performansi LoRa pada komunikasi nirkabel Internet of Things (IoT). Penelitian yang dilakukan oleh Ayub Repa menunjukkan bahwa LoRa dengan frekuensi 433 MHz dan 915 MHz mempunyai performansi yang baik dan layak digunakan untuk sistem monitoring di Politeknik Negeri Samarinda. Nilai SNR pada frekuensi 915 MHz lebih tinggi ketika menggunakan antenna rubber duck [1]. Penelitian yang dilakukan oleh Nihayatus Sa'adah menggunakan LoRa 915 MHz dan mikrokontroler ESP32. Data dari node sensor dikirim ke gateway setiap 15 menit, atau setiap detik jika terdeteksi adanya gerakan. Penelitian ini menghasilkan nilai packet loss 6.7% dari monitoring buoy [8]. Pada penelitian sebelumnya [2] melakukan perbandingan antara ESP (Effective Signal Power) dengan RSSI pada LoRaWAN. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan ESP lebih bisa diandalkan untuk mengatasi keterbatasan RSSI, terutama ketika nilai SNR <0 dB.

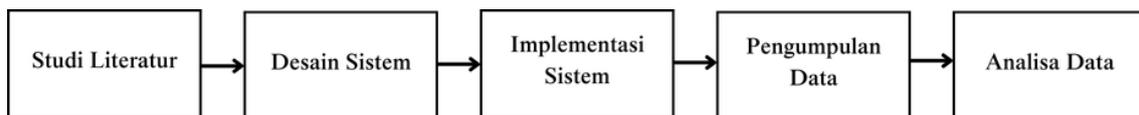
Penelitian [9] fokus pada pemantauan buoy dengan komunikasi LoRa dan evaluasi model saluran menggunakan pengukuran path loss. Dengan antena pemancar 0,35 m dan antena stasiun 2,65 m dan 5,2 m, hasilnya menunjukkan model round earth loss kurang akurat, sedangkan model ITU-R P.2001-3 dan Bullington lebih tepat. Penelitian ini juga mengevaluasi ketersediaan jaringan Sigfox, Narrowband IoT, dan The Things Network untuk aplikasi IoT pada buoy dengan antena rendah di laut. Penelitian [10] mengevaluasi pengaruh faktor penyebaran (SF) pada SNR, RSSI, dan ToA menggunakan lebih dari 6500 pesan LoRa dari jaringan uji di Kroasia. Model ITU-R P.2001-3 dan Bullington lebih akurat dibandingkan model round earth loss untuk ketinggian antena rendah dalam jaringan LoRa. LoRa efektif untuk aplikasi IoT, termasuk pemantauan buoy, dengan mempertimbangkan pengaruh SF dalam meningkatkan SNR dan RSSI.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performansi komunikasi LoRa pada sistem monitoring Buoy di laut. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi parameter komunikasi seperti RSSI, SNR, dan ESP.

B. Metode Penelitian

1. Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis kuantitatif untuk mengukur dan membandingkan performansi komunikasi LoRa, dengan fokus pada tiga parameter utama yaitu Signal-to-Noise Ratio (SNR), Received Signal Strength Indicator (RSSI), dan Energy Spectral Efficiency (ESP). Tahapan penelitian ini meliputi beberapa langkah penting yaitu:



Gambar 1. Tahapan penelitian

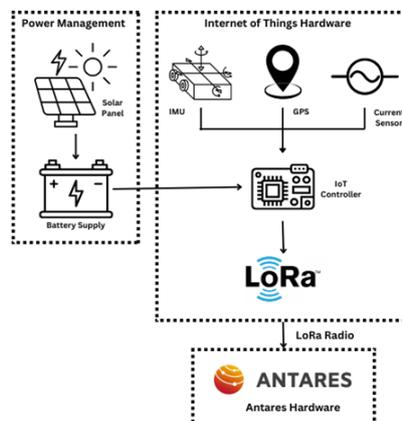
1. Studi literatur : Penelitian dimulai dengan mengumpulkan dan menganalisis berbagai referensi yang relevan terkait teknologi LoRa dan aplikasinya pada sistem monitoring buoy di laut. Referensi ini mencakup

- jurnal, buku, dan dokumen teknis yang memberikan informasi mendalam tentang prinsip kerja dan performansi LoRa.
2. **Desain Sistem** : Selanjutnya, dirancang sistem monitoring buoy yang menggunakan teknologi LoRa untuk komunikasi data. Desain ini mencakup pengembangan end-nodes pada buoy yang dilengkapi dengan modul LoRa dan sensor-sensor yang diperlukan, seperti sensor suhu IMU, sensor arus, dan sensor GPS.
 3. **Implementasi Sistem** : Setelah desain selesai, sistem monitoring buoy dikembangkan dan diuji. Implementasi ini melibatkan pengintegrasian hardware dan software, termasuk pengembangan aplikasi untuk pengolahan dan visualisasi data.
 4. **Pengumpulan Data** : Data performansi dikumpulkan dari sistem yang telah diujikan di lingkungan laut. Data yang dikumpulkan mencakup nilai-nilai SNR, RSSI, dan ESP yang dihasilkan dari komunikasi data menggunakan LoRa.
 5. **Analisa Data** : Data yang telah dikumpulkan kemudian dianalisa untuk mengevaluasi dan membandingkan nilai dari SNR, RSSI, dan ESP. Analisa ini dilakukan menggunakan software seperti MATLAB dan Excel untuk membantu dalam pengolahan dan interpretasi data.

2. Perencanaan Sistem dan Instrumen Pendukungnya

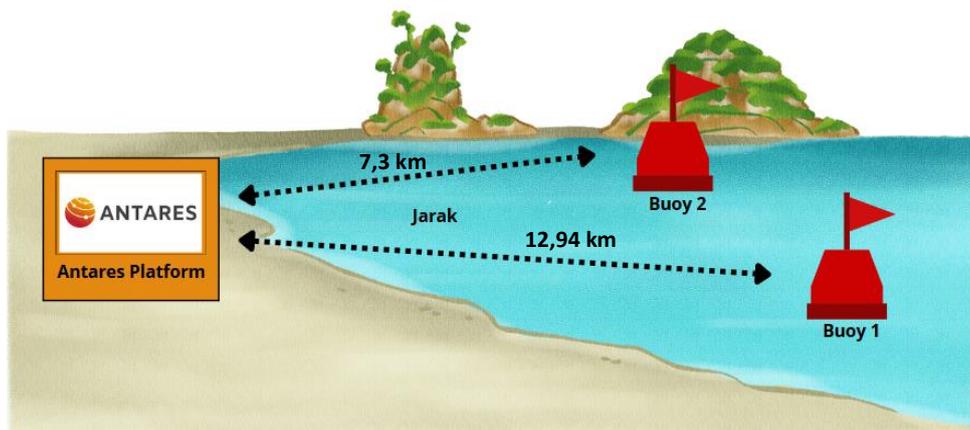
Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini mencakup modul LoRa RFM95 sebagai komponen utama untuk komunikasi. Sistem monitoring buoy dilengkapi dengan sensor IMU, sensor arus, dan sensor GPS. Data yang diperoleh dari sensor-sensor ini kemudian diolah menggunakan software seperti MATLAB dan Excel untuk analisa dan pengelompokan data.

Rancangan sistem mencakup desain hardware dan software yang terintegrasi. Desain hardware melibatkan pengembangan end-nodes pada buoy yang dilengkapi dengan modul LoRa dan sensor-sensor terkait. Desain software mencakup pengembangan aplikasi web untuk menampilkan data yang dikirim oleh gateway, pengolahan data mentah agar dapat dibaca oleh pengguna, serta analisa data keseluruhan. Dalam perancangan sistem, dibuat blok diagram yang membagi sistem penelitian ini menjadi beberapa bagian seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem

Dalam skenario di atas, digunakan sebuah mikrokontroler sebagai pengolah data sensor yang terintegrasi dengan berbagai sensor, termasuk sensor IMU, sensor arus, dan sensor GPS. Mikrokontroler ini mengumpulkan dan memproses data dari sensor-sensor tersebut. Antena LoRa digunakan sebagai jalur komunikasi untuk mengirimkan data yang telah diolah. Data-data sensor yang telah diolah dapat dimonitoring secara real-time melalui platform Antares, yang menyediakan antarmuka untuk visualisasi data, pemantauan kondisi buoy, dan analisa performansi sistem. Platform ini juga memungkinkan pengelolaan dan penyimpanan data secara efisien, serta memberikan notifikasi jika terdapat anomali dalam data yang diterima.



Gambar 3. Ilustrasi Jarak Buoy ke Gateway

Ilustrasi di atas menunjukkan dua buoy yang terhubung ke gateway platform Antares menggunakan teknologi LoRa, dengan jarak yang berbeda-beda menuju gateway. Buoy 1 berada lebih jauh dari gateway dibandingkan Buoy 2. Gateway ini mengumpulkan data dari kedua buoy dan mengirimkannya ke platform Antares untuk dianalisa dan disimpan. Perbedaan jarak ini menunjukkan kemampuan teknologi LoRa untuk menghubungkan perangkat IoT dengan platform Antares meskipun berada pada jarak yang berbeda-beda, serta memastikan data dari kedua buoy tetap dapat diakses.

3. Komunikasi LoRa

LoRa (Long Range) adalah teknologi komunikasi nirkabel yang menggunakan modulasi spread spectrum dengan frekuensi radio yang rendah untuk menyediakan konektivitas jarak jauh dengan konsumsi daya yang rendah. LoRa sering digunakan dalam aplikasi Internet of Things (IoT) karena kemampuannya untuk mentransmisikan data dalam jarak yang jauh, bahkan di lingkungan yang padat dan tak menentu. Beberapa parameter utama yang mempengaruhi kinerja sistem LoRa meliputi frekuensi kerja, bandwidth, spreading factor, dan daya transmisi. Frekuensi kerja yang digunakan pada penelitian ini yaitu berkisar antara 915 – 933 MHz. Bandwidth menentukan jumlah data yang dapat ditransmisikan dalam satu waktu, sementara spreading factor mempengaruhi jarak dan keandalan komunikasi. Daya transmisi mengacu pada kekuatan sinyal

yang dikirimkan oleh perangkat LoRa. Bandwidth yang digunakan sebesar 125 kHz dan Spreading Factor (SF) 12.

Sistem LoRa dapat beroperasi pada SNR (Signal-to-Noise Ratio) di bawah 0 dB karena sinyal LoRa dapat didekode meskipun daya sinyal berada di bawah level noise. Berdasarkan independensi antara sinyal dan noise, daya yang diukur (P_{rx}) pada input rantai RF adalah hasil penjumlahan dari daya sinyal (P_{sx}), potensi interferensi daya (P_{ix}), dan daya noise (P_{nx}) [11]. Dalam bentuk persamaan linear, hubungan ini dinyatakan sebagai :

$$P_{rx} = P_{sx} + P_{ix} + P_{nx} \tag{1}$$

Rasio sinyal terhadap interferensi ditambah noise adalah :

$$\rho = \frac{P_{sx}}{(P_{ix} + P_{nx})} \tag{2}$$

Dengan mengasumsikan bahwa besaran daya menggunakan satuan watt, persamaan Received Signal Strength Indicator (RSSI) dan Effective Signal Power (ESP) dapat didefinisikan menjadi:

$$RSSI \text{ (dB)} = 10 \log_{10} P_{rx} \tag{3}$$

$$ESP \text{ (dB)} = 10 \log_{10} P_{sx} \tag{4}$$

dan persamaan rasio sinyal terhadap interferensi ditambah noise atau didefinisikan sebagai SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio) adalah:

$$SINR_{dB} = 10 \log_{10} \rho \tag{5}$$

Untuk perhitungan RSSI dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} RSSI_{dB} &= 10 \log_{10} \left(P_{sx} + \frac{P_{sx}}{\rho} \right) \\ RSSI_{dB} &= 10 \log_{10} (P_{sx}) + 10 \log_{10} \left(1 + \frac{1}{\rho} \right) \\ RSSI_{dB} &= ESP_{dB} + 10 \log_{10} (1 + \rho) - 10 \log_{10} (\rho) \\ RSSI_{dB} &= ESP_{dB} + 10 \log_{10} \left(1 + 10^{\frac{SINR_{dB}}{10}} \right) - SINR_{dB} \end{aligned} \tag{6}$$

Selanjutnya, untuk pencarian nilai ESP dapat dinyatakan sebagai:

$$ESP_{dB} = RSSI_{dB} + SINR_{dB} - 10 \log_{10} \left(1 + 10^{\frac{SINR_{dB}}{10}} \right) \tag{7}$$

C. Hasil dan Pembahasan

1. Nilai RSSI

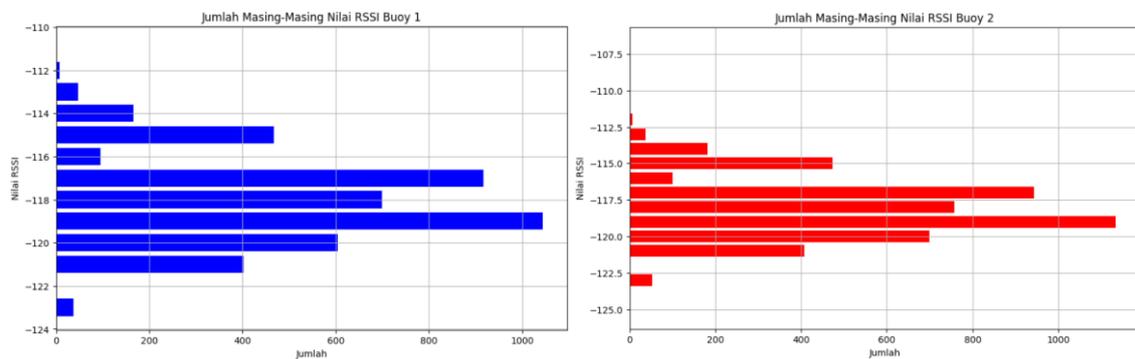
Tabel. Nilai RSSI

RSSI Buoy 1		
No	Nilai RSSI (dB)	Jumlah Data
1	-123	37

2	-121	402
3	-120	604
4	-119	1044
5	-118	700
6	-117	917
7	-116	95
8	-115	468
9	-114	166
10	-113	47
11	-112	8
12	-111	1

RSSI Buoy 2		
No	Nilai RSSI (dB)	Jumlah Data
1	-125	1
2	-123	53
3	-121	408
4	-120	699
5	-119	1133
6	-118	758
7	-117	943
8	-116	101
9	-115	474
10	-114	182
11	-113	37
12	-112	7
13	-111	3
14	-107	1

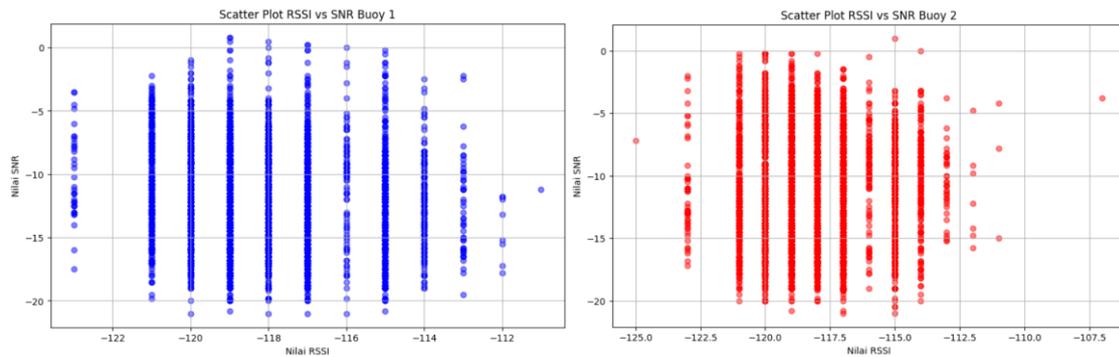
Dari data yang telah diambil dapat dilihat bahwa nilai RSSI di kedua buoy berada pada rentang -125 dB hingga -107 dB. Dimana dikedua buoy diketahui bahwa nilai dengan jumlah paling tinggi berada di -119 dB yaitu 1044 data pada buoy 1 dan 1133 data pada buoy 2.



Gambar 4. Grafik Nilai RSSI

Pada grafik jumlah nilai RSSI di atas, nilai -119 dB memiliki jumlah kemunculan tertinggi dimana dapat diartikan bahwa komunikasi sering terjadi pada kekuatan sinyal bernilai tersebut, dan untuk standar RSSI minimum pada LoRa yaitu berkisar lebih dari -120 dB. Sebagian besar data menunjukkan nilai RSSI yang lebih baik dari -120 dB, yang mengindikasikan bahwa kualitas sinyal masih cukup baik [12][13].

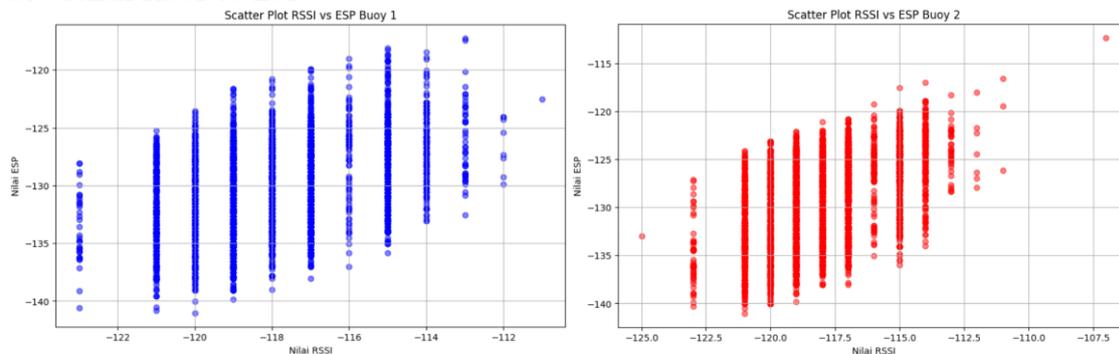
2. Nilai RSSI vs SNR



Gambar 5. Scatter RSSI vs SNR

Grafik diatas menunjukkan korelasi antara SNR dan RSSI, dimana RSSI bertujuan untuk mengukur kekuatan sinyal sedangkan SNR mengukur kualitas sinyal. Pada kedua grafik terlihat bahwa nilai SNR berkisar -20 dB hingga 0 dB, dan dapat dilihat bahwa keduanya memiliki kecenderungan yang sama yaitu pada nilai RSSI -116 dB hingga -121 dB memiliki banyak data dengan nilai SNR berkisar -3 dB hingga -10 dB dimana menandakan sinyal yang diterima cukup baik apabila dibandingkan dengan noise floor [14].

3. Nilai RSSI vs ESP



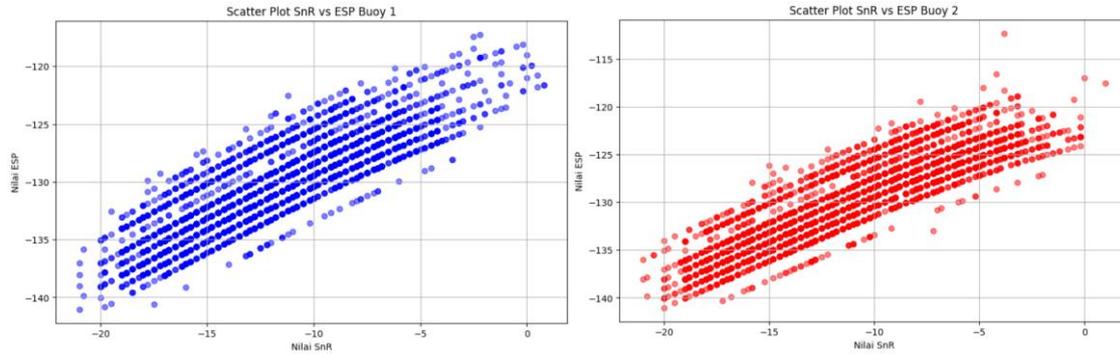
Gambar 6. Scatter RSSI vs ESP

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara RSSI dan ESP (dB) pada pengukuran menggunakan LoRa 915 MHz. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa semakin tinggi nilai RSSI, maka semakin tinggi pula nilai ESP (dB) [15]. Hal ini sejalan dengan perbandingan antara RSSI dengan SNR dimana untuk mendapatkan nilai ESP, maka dilakukan perhitungan menggunakan persamaan (7).

4. Scatter SNR vs ESP

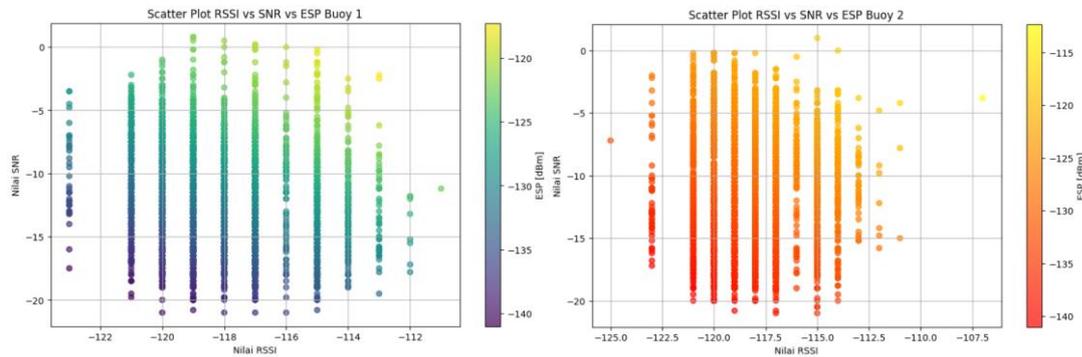
Fenomena korelasi positif antara SNR dan ESP yang tampak dalam Gambar 7 menunjukkan bahwa saat SNR meningkat, ESP juga ikut meningkat, yang bisa diakibatkan oleh faktor-faktor spesifik dalam sistem pengukuran atau lingkungan di mana sinyal utama yang lebih kuat tidak hanya meningkatkan rasio sinyal terhadap noise, tetapi juga meningkatkan energi spektral total. Ini mungkin disebabkan oleh kondisi khusus di mana sinyal utama mendominasi komponen spektral, atau adanya noise yang tidak sepenuhnya bersifat white Gaussian

sehingga distribusi energi spektralnya cenderung meningkat seiring dengan peningkatan sinyal. Fenomena ini mengindikasikan bahwa dalam konteks data data diatas, SNR dan ESP tidak memiliki hubungan negatif yang biasanya diharapkan, tetapi menunjukkan keterkaitan positif yang signifikan.



Gambar 7. Scatter SNR vs ESP

5. Nilai RSSI vs SNR vs ESP



Gambar 8. Scatter RSSI vs SNR vs ESP

Secara ideal, ketika RSSI (Received Signal Strength Indicator) naik, yang menandakan bahwa kekuatan sinyal yang diterima meningkat, SNR (Signal-to-Noise Ratio) juga biasanya akan naik, karena sinyal yang lebih kuat akan lebih mudah mendominasi noise. Dalam kondisi ideal ini, ESP (Energy Spectral Density) biasanya akan menurun karena SNR yang tinggi berarti sinyal lebih bersih dengan lebih sedikit noise yang tersisa untuk mempengaruhi spektrum energi. Namun, pada data yang ditampilkan dalam grafik, meskipun ada kenaikan SNR seiring dengan peningkatan RSSI, ESP justru cenderung meningkat atau tetap tinggi pada SNR yang tinggi. Hal ini menunjukkan adanya fenomena di mana sinyal utama, meskipun lebih kuat, mungkin membawa atau menyebabkan peningkatan energi spektral secara keseluruhan, yang bisa terjadi dalam kondisi lingkungan tertentu atau pengaturan sistem yang tidak ideal, di mana noise mungkin masih cukup kuat untuk tetap mempengaruhi ESP meskipun sinyal juga kuat. Fenomena ini mengindikasikan bahwa, hubungan antara RSSI, SNR, dan ESP tidak sepenuhnya linier atau ideal, melainkan dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang menyebabkan ESP tetap tinggi bahkan pada SNR yang lebih tinggi.

D. Simpulan

Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa nilai RSSI pada kedua buoy berkisar antara -125 dB hingga -107 dB, dengan nilai RSSI paling sering muncul adalah -119 dB, yaitu sebanyak 1044 data pada buoy 1 dan 1133 data pada buoy 2. Hal ini menunjukkan bahwa komunikasi dengan kekuatan sinyal di kisaran tersebut sering terjadi, dan sebagian besar nilai RSSI berada di atas standar minimum LoRa, yaitu -120 dB. Meskipun sinyal yang diterima tidak selalu optimal, kualitas komunikasi tetap memadai untuk pengiriman data.

Dari hasil yang didapatkan mengindikasikan adanya korelasi positif antara RSSI, SNR, dan ESP pada sistem komunikasi LoRa. Saat RSSI meningkat, SNR juga cenderung meningkat, yang menandakan kekuatan sinyal yang lebih baik. Namun, peningkatan SNR ini juga disertai dengan peningkatan nilai ESP, yang menunjukkan bahwa kondisi pengukuran tidak ideal, sehingga noise masih mempengaruhi energi spektral. Hal ini mengindikasikan bahwa hubungan antara RSSI, SNR, dan ESP pada sistem yang dianalisa tidak sepenuhnya linier, melainkan dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan atau konfigurasi sistem tertentu yang menyebabkan variasi dalam karakteristik sinyal.

E. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (P3M) Politeknik Elektronika Negeri Surabaya yang telah memberikan dukungan terhadap penelitian.

F. Referensi

- [1] R. Batong, P. Murdiyati, and A. H. Kurniawan, "Analisis Kelayakan LoRa Untuk Jaringan Komunikasi Sistem Monitoring Listrik Di Politeknik Negeri Samarinda," *PoliGrid*, vol. 1, no. 2, p. 55, Dec. 2020.
- [2] A. Abdelghany, B. Uguen, C. Moy, and D. Lemur, "On Superior Reliability of Effective Signal Power versus RSSI in LoRaWAN," *HAL (Le Centre pour la Communication Scientifique Directe)*, Jun. 2021.
- [3] A. Zourmand, A. L. Kun Hing, C. Wai Hung, and M. AbdulRehman, "Internet of Things (IoT) using LoRa technology," *IEEE Xplore*, Jun. 01, 2019.
- [4] A. E. Ferreira, F. M. Ortiz, L. H. M. K. Costa, B. Foubert, I. Amadou, and N. Mitton, "A study of the LoRa signal propagation in forest, urban, and suburban environments," *Annals of Telecommunications*, vol. 75, no. 7–8, pp. 333–351, Jul. 2020.
- [5] Atika Shinta Ayuningtyas, Uke Kurniawan Usman, and Ibnu Alinursafa, "Analisis Perencanaan Jaringan Lora (Long Range) Di Kota Surabaya," *eProceedings of Engineering*, vol. 7, no. 2, Aug. 2020.
- [6] Q. M. Qadir, "Analysis of the Reliability of LoRa," *IEEE Communications Letters*, vol. 25, no. 3, pp. 1037–1040, Mar. 2021.
- [7] A. Abdelghany, B. Uguen, C. Moy, and D. Lemur, "Spatial Correlation of CSI in Real LoRa Measurement," Jan. 2022.
- [8] Nihayatus Sa'adah, Afifah Dwi Ramadhani, and Dimas Pristovani Riananda, "Tracking Position on GPS Smart Buoy System Using LoRa Communication," Oct. 2023.

- [9] M. Sandra, S. Willhammar, and A. J. Johansson, "Internet of Buoys: An Internet of Things Implementation at Sea," *arXiv (Cornell University)*, Nov. 2020.
- [10] F. Turčinović, J. Vuković, S. Božo, and G. Šišul, "Analysis of LoRa Parameters in Real-World Communication," *IEEE Xplore*, Sep. 01, 2020.
- [11] L. Aarif, M. Tabaa, and H. Hachimi, "Experimental test and performance of RSSI-based indoor localization in LoRa Networks," *Procedia Computer Science*, vol. 203, pp. 420-425, 2022.
- [12] C. Sanchez, B. Arpi, A. Vazquez-Rodas, F. Astudillo-Salinas, and L. I. Minchala, "Performance Evaluation of RSSI-based Positioning System with Low-cost LoRa Devices," in *Proceedings of the 16th ACM International Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, & Ubiquitous Networks (PE-WASUN '19)*, New York, NY, USA, 2019, pp. 37–44.
- [13] A. Vazquez-Rodas, F. Astudillo-Salinas, C. Sanchez, B. Arpi, and L. I. Minchala, "Experimental evaluation of RSSI-based positioning system with low-cost LoRa devices," *Ad Hoc Networks*, vol. 105, p. 102168, 2020.
- [14] Khan, Malak Abid Ali, et al. "Experimental Comparison of SNR and RSSI for LoRa-ESL Based on Machine Clustering and Arithmetic Distribution." arXiv preprint arXiv:2210.15122 (2022).
- [15] A. Abdelghany, B. Uguen, C. Moy, and D. Lemur, "On Superior Reliability of Effective Signal Power versus RSSI in LoRaWAN," in *2021 28th International Conference on Telecommunications (ICT)*, London, United Kingdom, 2021, pp. 1-5.