

Evaluasi Kinerja Jaringan Sensor Nirkabel Berbasis Lorawan Untuk Pemantauan Kualitas Udara *Indoor* Berdasarkan Parameter *Packet Loss* Dan RSSI

Khairuni¹, Riza Mirza²

¹Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Almuslim
Email: khairuni090199@gmail.com

ABSTRAK

Pemantauan kualitas udara dalam ruangan (*Indoor Air Quality* - IAQ) sangat penting untuk kesehatan penghuni gedung. LoRaWAN (*Long Range Wide Area Network*) muncul sebagai teknologi yang menjanjikan untuk aplikasi ini karena jangkauannya yang luas dan konsumsi daya yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja jaringan sensor nirkabel berbasis LoRaWAN untuk pemantauan IAQ di lingkungan dalam ruangan yang realistis. Sebuah sistem yang terdiri dari tiga sensor *node* dan satu *gateway* diimplementasikan di dalam sebuah gedung perkantoran. Kinerja jaringan dievaluasi berdasarkan dua metrik utama: *Packet Loss Rate* (PLR) dan *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) pada jarak dan kondisi halangan yang berbeda-beda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa jarak dan halangan fisik (seperti dinding beton) berpengaruh signifikan terhadap kinerja jaringan. *Node* yang berada pada jarak terjauh (25 meter dengan dua dinding penghalang) mengalami PLR tertinggi sebesar 12.5% dengan rata-rata RSSI -118 dBm. Temuan ini memberikan wawasan praktis mengenai batasan dan keandalan LoRaWAN untuk aplikasi pemantauan di dalam gedung.

Kata kunci: *Kualitas Udara, LoRaWAN, Jaringan Sensor Nirkabel, Packet Loss, RSSI, Kinerja Jaringan*

Penulis koresponden : Riza Mirza

Tanggal terbit : 15 Juni 2025

Tautan : <https://jurnal.komputasi.org/index.php/jst/article/view/36>

1. PENDAHULUAN

Kualitas udara dalam ruangan (*Indoor Air Quality* – IAQ) merupakan faktor krusial yang mempengaruhi kesehatan, kenyamanan, dan produktivitas manusia [1]. Paparan polutan seperti *Particulate Matter* (PM2.5) dan karbon dioksida (CO₂) dalam jangka panjang dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan seperti gangguan pernapasan, penurunan fungsi kognitif, dan kelelahan kronis[2]. Oleh karena itu, sistem pemantauan IAQ secara real-time menjadi sangat penting dalam mendeteksi dan menanggulangi kondisi udara yang tidak sehat.

Implementasi sistem pemantauan konvensional berbasis kabel seringkali tidak fleksibel, memerlukan infrastruktur yang kompleks, dan berbiaya tinggi untuk instalasi maupun pemeliharaan. Sebagai alternatif, *Wireless Sensor Network* (WSN) menawarkan solusi yang lebih praktis dan efisien. Dengan WSN, berbagai sensor dapat berkomunikasi secara nirkabel, sehingga lebih mudah ditempatkan dan dikembangkan di berbagai lingkungan [3].

Di antara berbagai protokol komunikasi nirkabel yang tersedia, LoRaWAN (*Long Range Wide Area Network*) mendapat perhatian luas untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT) berskala besar. LoRaWAN dikenal karena konsumsi dayanya yang rendah dan jangkauan transmisi yang luas hingga beberapa kilometer, membuatnya sangat ideal untuk sistem pemantauan berbasis baterai [4]. Walaupun performa LoRaWAN telah banyak dievaluasi di lingkungan luar ruangan (*outdoor*), efektivitasnya di lingkungan dalam ruangan (*indoor*) masih menyisakan tantangan. Lingkungan indoor cenderung kompleks karena banyaknya hambatan fisik seperti dinding, perabot, dan kehadiran manusia, yang dapat mempengaruhi kekuatan dan keandalan sinyal.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji performa jaringan LoRaWAN dalam konteks pemantauan kualitas udara. Bianchi et al. (2020) mengembangkan sistem pemantauan IAQ berbasis LoRaWAN dan mengevaluasi parameter seperti *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), *latency*, dan *throughput*. Penelitian ini membuktikan bahwa LoRaWAN cocok digunakan untuk pemantauan kualitas udara, meskipun belum membahas secara rinci aspek *packet loss* [5]. Selanjutnya, Aziz et al. (2023) melakukan studi empiris mengenai performa LoRaWAN pada berbagai skenario *indoor*, dengan fokus pada pengaruh posisi *gateway* terhadap RSSI dan *packet loss*, namun tidak secara khusus menyoroti aplikasinya dalam pemantauan IAQ [6]. Sementara itu, Nugroho et al. (2021) mengevaluasi jaringan LoRaWAN untuk pemantauan IAQ di kawasan urban, dengan parameter evaluasi berupa RSSI dan *Packet Delivery Ratio* (PDR), namun tanpa menyoroti variasi lokasi dan desain implementasi sensor secara detail [7].

Keandalan pengiriman data menjadi kunci dalam sistem pemantauan *real-time*. Dua metrik yang umum digunakan untuk mengevaluasi performa jaringan nirkabel adalah *Packet Loss Rate* (PLR), yang menunjukkan persentase paket data yang hilang selama transmisi, dan RSSI, yang mengukur kekuatan sinyal yang diterima di sisi penerima. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja jaringan LoRaWAN untuk aplikasi pemantauan IAQ di dalam gedung dengan menganalisis PLR dan RSSI pada berbagai lokasi. Nilai kebaruan dari penelitian ini terletak pada penyediaan data kinerja empiris pada skenario implementasi *indoor* yang realistis, sehingga dapat menjadi pedoman praktis untuk perancangan dan penempatan *node* WSN berbasis LoRaWAN di lingkungan bangunan serupa.

2. METODELOGI

Penelitian ini menggunakan metode studi kasus eksperimental di sebuah gedung perkantoran tiga lantai.

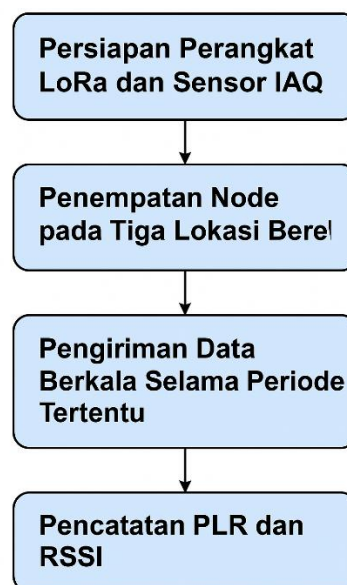
2.1. Arsitektur Sistem

Sistem yang digunakan terdiri dari tiga sensor *node* identik, satu gateway LoRaWAN, dan *The Things Network* (TTN) sebagai *network server*.

- **Sensor Node:** Setiap node dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32, modul LoRa Ra-02, dan sensor kualitas udara PMS5003 (untuk PM2.5).
- **Gateway:** Sebuah *single-channel gateway* berbasis ESP32 digunakan untuk menerima data dari semua node.
- **Network Server:** Data yang diterima *gateway* diteruskan ke platform TTN untuk decode dan penyimpanan.

2.2 flowchat metologi eksperimen

Untuk memperoleh data yang relevan dalam evaluasi kinerja jaringan sensor nirkabel LoRaWAN untuk pemantauan kualitas udara dalam ruangan, dilakukan serangkaian langkah sistematis yang ditampilkan dalam diagram alur berikut. Proses dimulai dari persiapan perangkat LoRa dan sensor kualitas udara (IAQ), kemudian dilanjutkan dengan penempatan *node* pada tiga lokasi berbeda yang mewakili kondisi *Line-of-Sight* (LOS), *Non-Line-of-Sight* (NLOS), dan *Multi-Obstacle*. Selama periode pengujian, data dikirimkan secara berkala dari masing-masing node ke *gateway*, dan hasil pengiriman tersebut dianalisis untuk mengukur parameter *Packet Loss Rate* (PLR) dan *Received Signal Strength Indicator* (RSSI). Prosedur lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1 Tahapan Penelitian

2.2. Skenario Pengujian

Gateway ditempatkan di lokasi sentral di lantai dua gedung. Tiga sensor *node* ditempatkan pada lokasi yang berbeda untuk merepresentasikan skenario yang beragam:

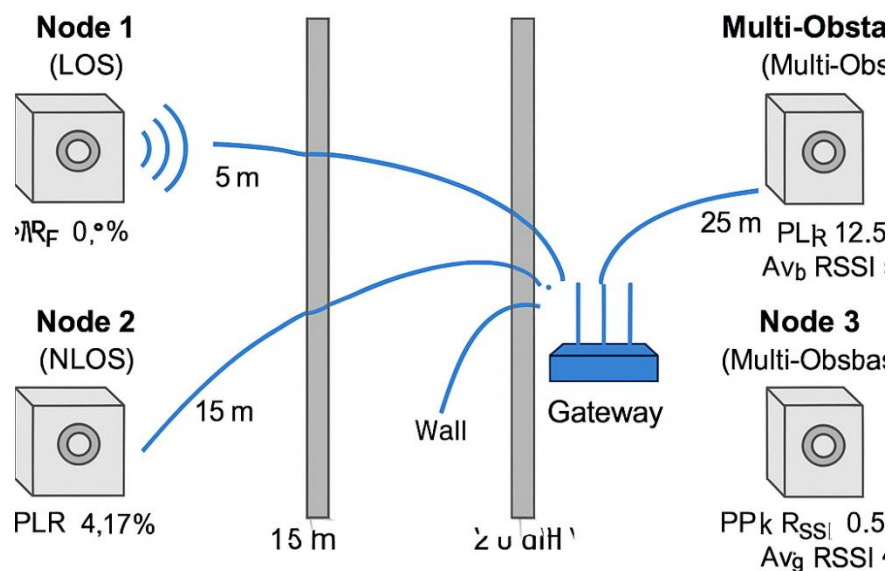
- Node 1 (*Line-of-Sight*): Berjarak 5 meter dari *gateway* di ruangan yang sama tanpa halangan.
 - Node 2 (*Non-Line-of-Sight*): Berjarak 15 meter dari *gateway*, terhalang oleh satu dinding beton.
 - Node 3 (*Multi-Obstacle*): Berjarak 25 meter dari *gateway*, terhalang oleh dua dinding beton dan berada di lantai yang berbeda.
- 2.3. Prosedur Pengambilan Data
1. Setiap sensor node diprogram untuk mengirimkan data PM2.5 setiap 10 menit.
 2. Eksperimen dilakukan selama 24 jam. Total paket yang seharusnya dikirim oleh setiap *node* adalah 144 paket (6 paket/jam * 24 jam).
 3. Untuk setiap paket yang berhasil diterima di TTN, metadata RSSI dan jumlah paket yang diterima dicatat.
- 2.4. Analisis Kinerja
- Kinerja jaringan dianalisis menggunakan dua metrik:
1. *Packet Loss Rate* (PLR): Dihitung menggunakan rumus:

$$PLR(\%) = \frac{\text{Paketterkirim} - \text{Paketditerima}}{\text{Paketterkirim}} \times 100$$

2. Rata-rata RSSI: Nilai rata-rata RSSI untuk setiap *node* dihitung untuk mengevaluasi kualitas sinyal

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengevaluasi kinerja jaringan LoRaWAN dalam pemantauan kualitas udara dalam ruangan, dilakukan sebuah eksperimen dengan menempatkan tiga *node* sensor pada lokasi yang berbeda berdasarkan jarak dan jenis halangan fisik terhadap *gateway*. Node 1 ditempatkan dalam kondisi *Line-of-Sight* (LOS) sejauh 5 meter tanpa halangan, Node 2 dalam kondisi *Non-Line-of-Sight* (NLOS) sejauh 15 meter dengan satu dinding sebagai penghalang, dan Node 3 sejauh 25 meter dengan dua dinding dan beda lantai (*multi-obstacle*). Skema penempatan ini dirancang untuk mensimulasikan skenario nyata di lingkungan *indoor* yang kompleks, serta mengukur parameter *Packet Loss Rate* (PLR) dan *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) guna mengetahui pengaruh dari jarak dan hambatan fisik terhadap performa jaringan LoRaWAN. Ilustrasi pengaturan eksperimen ditampilkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 2 Topologi Eksperimen Evaluasi LoRaWAN Indoor berdasarkan Parameter Jarak, Halangan, PLR, dan RSSI

1. Node 1 (LOS – Line of Sight)
 - Jarak ke Gateway: 5 meter
 - Halangan: Tidak ada
 - PLR: 0%

- RSSI: sekitar -78 dBm

Kondisi: Ideal karena tidak ada halangan, sinyal langsung ke *gateway* tanpa hambatan, menghasilkan pengiriman data sempurna (tanpa *packet loss*).

2. Node 2 (NLOS – Non-Line of Sight)

- Jarak ke *Gateway*: 15 meter
- Halangan: 1 dinding
- PLR: 4.17%
- RSSI: sekitar -95 dBm

Kondisi: Terdapat satu penghalang (dinding), menyebabkan penurunan kekuatan sinyal dan munculnya *packet loss*.

3. Node 3 (Multi-Obstacle)

- Jarak ke *Gateway*: 25 meter
- Halangan: 2 dinding dan beda lantai
- PLR: 12.5%
- RSSI: sekitar -118 dBm

Kondisi: Merupakan kondisi paling berat, dengan banyak penghalang fisik dan jarak paling jauh. Kekuatan sinyal sangat lemah dan tingkat *packet loss* paling tinggi.

4. Gateway

- Berfungsi sebagai pusat penerima data dari ketiga *node*.
- Dihubungkan dengan *node* melalui sinyal nirkabel LoRa.

Pengujian selama 24 jam telah selesai dan data kinerja dari ketiga *node* berhasil dikumpulkan. Ringkasan hasil disajikan pada Tabel 2.

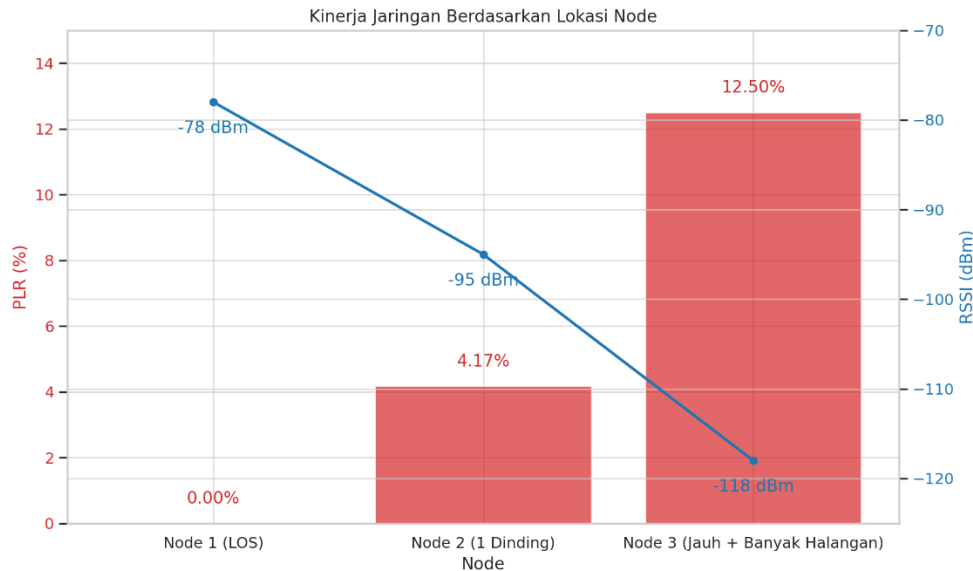
Tabel 2. Hasil Kinerja Jaringan LoRaWAN

Parameter	Node 1 (LOS)	Node 2 (NLOS)	Node 3 (<i>Multi-Obstacle</i>)
Jarak dari <i>Gateway</i>	5 m	15 m	25 m
Halangan	tidak ada	1 dinding	2 dinding, beda lantai
Paket Terkirim	144	144	144
Paket Diterima	144	138	126
<i>Packet Loss Rate</i>	0%	4.17%	12.5%
Rata-rata RSSI	-78 dBm	-95 dBm	-118 dBm

Hasil pada Tabel 2 menunjukkan korelasi yang kuat antara jarak, halangan, dan kinerja jaringan. *Node 1*, yang memiliki kondisi ideal (Line-of-Sight), berhasil mengirimkan semua paket data (PLR 0%) dengan kekuatan sinyal yang sangat baik (rata-rata RSSI -78 dBm).

Kinerja menurun pada *Node 2*, di mana adanya satu dinding penghalang menyebabkan hilangnya beberapa paket (PLR 4.17%) dan pelemahan sinyal yang signifikan (RSSI -95 dBm). Penurunan kinerja paling drastis terjadi pada *Node 3*, yang ditempatkan pada jarak terjauh dengan halangan paling banyak. PLR mencapai 12.5% dan rata-rata RSSI turun hingga -118 dBm, yang mendekati batas sensitivitas penerima LoRa.

Berikut adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara lokasi *node*, *Packet Loss Rate* (PLR), dan RSSI:



Gambar 3 Kinerja Jaringan Berdasarkan Lokasi *Node*

Keterangan gambar :

- PLR (%) ditampilkan dalam bentuk batang merah — menunjukkan semakin tinggi nilai PLR, semakin banyak paket yang hilang.
- RSSI (dBm) ditampilkan sebagai garis biru — menunjukkan kekuatan sinyal yang diterima. Semakin negatif nilainya, sinyal semakin lemah.

Grafik ini mengilustrasikan bahwa penambahan halangan fisik dan jarak menyebabkan:

- Pelemahan sinyal (penurunan RSSI)
- Kenaikan PLR, yaitu semakin banyak paket yang gagal diterima.

Temuan ini mendukung kesimpulan bahwa perencanaan posisi *node* dan *gateway* sangat krusial untuk menjaga keandalan sistem pemantauan IAQ berbasis LoRaWAN di lingkungan *indoor*.

Hasil ini mengkonfirmasi bahwa meskipun LoRaWAN memiliki jangkauan yang jauh, atenuasi sinyal akibat halangan fisik seperti dinding beton di lingkungan *indoor* sangat signifikan. Pelemahan sinyal (penurunan nilai RSSI) secara langsung meningkatkan kemungkinan kegagalan penerimaan paket (kenaikan PLR). Temuan ini mengimplikasikan bahwa untuk implementasi sistem pemantauan IAQ yang andal di gedung besar, penempatan *gateway* dan *node* harus direncanakan dengan cermat, dan kemungkinan diperlukan lebih dari satu *gateway* untuk memastikan cakupan yang menyeluruh.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan terhadap tiga *node* dengan kondisi jarak dan halangan fisik yang berbeda, dapat disimpulkan bahwa performa jaringan LoRaWAN di lingkungan *indoor* sangat dipengaruhi oleh faktor jarak dan jumlah serta jenis hambatan fisik. *Node* dengan kondisi *Line-of-Sight* (*Node* 1) menunjukkan performa terbaik dengan *Packet Loss Rate* (PLR) 0% dan rata-rata RSSI sebesar -78 dBm, menandakan transmisi data berjalan optimal tanpa gangguan. Sebaliknya, performa menurun drastis pada *Node* 3 yang memiliki dua dinding penghalang dan beda lantai, dengan PLR mencapai 12.5% dan RSSI sebesar -118 dBm, mendekati ambang batas sensitivitas perangkat penerima.

Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun LoRaWAN dirancang untuk jangkauan luas, efektivitasnya dalam lingkungan *indoor* kompleks seperti bangunan bertingkat tetap terbatas oleh hambatan fisik. Oleh karena itu, dalam implementasi sistem pemantauan kualitas udara berbasis LoRaWAN, penempatan *node* dan *gateway* harus dirancang secara strategis untuk meminimalkan hambatan sinyal dan memaksimalkan keandalan komunikasi data. Penambahan *gateway* tambahan atau *repeater* juga dapat dipertimbangkan pada area dengan hambatan berat guna menjamin kontinuitas pengiriman data.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Farhan, F. Islam, and M. Chairani H, “Pengukuran Kualitas Udara Particulat Matter (PM2,5) Dalam Ruangan Di PT. Rekind Daya Mamuju,” *J. Kesehat. Lingkung. Mapaccing*, vol. 3, no. 1, pp. 7–16, 2025, doi: 10.33490/mpc.v3i1.1744.
- [2] M. B. Intan Sekar Arumdani, Rizky Aulia Salsabila AM, Fitni Hidayati, Alifia Intan Berlian, Laliyanto, Arief Nugroho, Khaira Ilma, Siti Hajar Husni, Ferdianti, Dwi Fitriani, Hanung Nurany, Muhammad Fadli Ramadhansyah, *Hakikat kesehatan lingkungan*. azzia karya bersama, 2024.
- [3] laksamana rajendra haidar azani Fajri, “PERANAN MOBILE ADHOC DALAM KOMUNIKASI DATA 2023 PENULIS: LAKSAMANA RAJENDRA HAIDAR AZANI FAJRI PENERBIT: YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK,” 2023.
- [4] N. M. Obiri and H. Shikunzi, “Long-Range Wide Area Network (LoRa-WAN) Connectivity and Range Evaluation in a Rural Setting,” *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 185, no. 3, pp. 61–67, 2023, doi: 10.5120/ijca2023922699.
- [5] T. Seel, M. Kok, and R. S. McGinnis, “Inertial sensors—applications and challenges in a nutshell,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 21, pp. 1–5, 2020, doi: 10.3390/s20216221.
- [6] F. A. Aziz, “Performance Analysis of Indoor LoRaWAN Deployment for Environmental Monitoring,” 2023, doi: 10.1109/IMWS-AMP54652.2022.10107063.
- [7] A. C. Nugroho, “LoRaWAN Performance Evaluation for Indoor Air Quality Monitoring in Urban Area,” 2021, [Online]. Available: <https://ijssan.in/index.php/ijssan/article/view/132>