

IMPLEMENTASI LoRaWAN UNTUK SISTEM MONITORING ENERGI LISTRIK DENGAN MODUL KOMUNIKASI LoRa

D'niel Revolt Kasenda¹, Muhammad Mimsyad², Zaini³
Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar
E-mail: * dnielrevoltksnda@gmail.com¹

ABSTRAK

Penelitian ini membahas implementasi *LoRaWAN* (Long Range Wide Area Network) sebagai sistem komunikasi nirkabel untuk monitoring energi listrik di PT Vale Indonesia Tbk. Sistem ini dirancang untuk mengatasi keterbatasan jaringan LAN yang belum mencakup seluruh bangunan, sehingga dibutuhkan solusi yang efisien dan mudah dalam instalasi. Perangkat yang digunakan meliputi *ION7400 Power Meter* sebagai pengukur parameter listrik, *Milesight UC502 Controller* sebagai pengirim data melalui protokol RS485/Modbus, dan *Milesight UG67 Gateway* sebagai penerima yang meneruskan data ke aplikasi monitoring. Hasil pengujian menunjukkan nilai RSSI berada pada rentang -94 dBm hingga -97 dBm dan SNR -4,5 dB hingga -8,8 dB. Nilai *Link Budget* pada jarak 560 meter menghasilkan RSL -62,12 dBm, masih di atas sensitivitas penerima LoRa, sehingga komunikasi tetap stabil. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring energi listrik berbasis *LoRaWAN* mampu bekerja dengan baik untuk pemantauan tegangan, arus, dan daya secara real-time dengan jangkauan komunikasi lebih dari 1 km. Sistem ini terbukti efisien, andal, dan relevan untuk mendukung manajemen energi di PT Vale Indonesia Tbk.

Kata kunci

LoRaWAN, IoT, Monitoring Energi Listrik, UC502, UG67, RSSI, SNR

ABSTRACT

This study discusses the implementation of LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) as a wireless communication system for electrical energy monitoring at PT Vale Indonesia Tbk. This system was designed to address the limitations of LAN networks that do not yet cover all buildings, requiring an efficient and easy-to-install solution. The devices used include an ION7400 Power Meter to measure electrical parameters, a Milesight UC502 Controller to transmit data via the RS485/Modbus protocol, and a Milesight UG67 Gateway to transmit data to the monitoring application. Test results showed RSSI values ranging from -94 dBm to -97 dBm and SNR values from -4.5 dB to -8.8 dB. The Link Budget value at a distance of 560 meters resulted in an RSL of -62.12 dBm, still above the sensitivity of the LoRa receiver, ensuring stable communication. Based on these results, it can be concluded that the LoRaWAN-based electrical energy monitoring system performs well for real-time monitoring of voltage, current, and power with a communication range of more than 1 km. This system has proven to be efficient, reliable, and relevant to support energy management at PT Vale Indonesia Tbk.

Keywords

LoRaWAN, IoT, Electrical Energy Monitoring, UC502, UG67, RSSI, SNR

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pada era modern telah mendorong industri untuk mengadopsi sistem monitoring yang mampu mendukung proses produksi dan pengelolaan data secara efisien (Yuliandra & Jaeba, 2017). Salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah Internet of Things (IoT), yaitu konsep di mana setiap perangkat dapat saling berkomunikasi melalui protokol komunikasi tertentu (Cisco, 2012). IoT memungkinkan pemantauan dan pengendalian peralatan secara real-time, sehingga sangat relevan diterapkan dalam industri yang membutuhkan efisiensi energi dan keandalan sistem.

PT Vale Indonesia Tbk. adalah perusahaan tambang nikel multinasional asal Brasil yang beroperasi di Indonesia sejak tahun 1968. Aktivitas penambangan dilakukan di wilayah Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah, dan Sulawesi Tenggara, dengan pabrik utama di Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur (Hamzah et al., 2023). Operasional perusahaan ini sangat bergantung pada pasokan energi listrik yang efisien untuk mendukung proses produksinya. Peningkatan kebutuhan energi dan tantangan pengelolaan sumber daya mendorong perlunya teknologi yang dapat menyediakan informasi penggunaan energi secara cepat dan akurat.

Saat ini, PT Vale Indonesia Tbk memiliki jaringan komunikasi Local Area Network (LAN) yang menghubungkan berbagai perangkat monitoring. Namun, sistem monitoring energi listrik di Departemen Energy dan Logistic, khususnya pada divisi Energy Management, dinilai kurang efisien dari segi biaya, instalasi, dan kinerja. Beberapa bangunan belum terhubung ke jaringan LAN sehingga pemasangan jaringan baru memerlukan biaya tinggi dan proses instalasi yang kompleks.

Untuk mengatasi kendala tersebut, dibutuhkan sistem komunikasi jarak jauh yang lebih efisien dan mudah dipasang. Salah satu solusinya adalah dengan menerapkan controller berbasis IoT yang memungkinkan seluruh perangkat monitoring dapat diakses secara online dan real-time tanpa ketergantungan penuh pada jaringan LAN.

Berbagai teknologi komunikasi untuk mendukung perangkat IoT telah dikembangkan, termasuk *Low Power Wide Area Network* (LPWAN). LPWAN menawarkan komunikasi jarak jauh, konsumsi daya rendah, dan cakupan area luas. Di antara teknologi LPWAN seperti LTE-M, Sigfox, dan NB-IoT, LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) menempati posisi dominan karena jangkauan komunikasi yang panjang, konsumsi daya rendah, biaya operasional rendah, dan masa pakai baterai perangkat yang panjang (Noprianto et al., 2024). Keunggulan ini menjadikan LoRaWAN cocok digunakan pada kondisi *Non-Line of Sight* (NLOS), seperti lingkungan pertambangan yang memiliki banyak hambatan fisik.

Penerapan jaringan sensor nirkabel berbasis LoRaWAN memungkinkan pengumpulan data dari sensor-node yang terhubung ke *gateway*, kemudian diteruskan ke aplikasi sistem pemantauan. Aplikasi ini mampu menampilkan parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, frekuensi, faktor daya, daya aktif, daya reaktif, daya semu, harmonisa, dan konsumsi energi (Usman et al., 2023). Kelebihan sistem ini adalah kemampuannya untuk melakukan pemantauan dari jarak jauh tanpa batasan jarak, meskipun kualitas koneksi internet tetap menjadi faktor yang memengaruhi performa sistem (I Made Bayu Wisnawa, 2024).

Walaupun penelitian terkait monitoring energi listrik berbasis IoT dan komunikasi LoRa sudah ada, belum ada penelitian yang secara khusus mengimplementasikan protokol LoRaWAN untuk pemantauan energi listrik di sektor industri pertambangan, khususnya di PT Vale Indonesia Tbk. Penelitian ini mencoba mengisi celah tersebut

dengan mengembangkan dan mengimplementasikan LoRaWAN yang terintegrasi dengan sistem monitoring energi listrik.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini berjudul: "Implementasi LoRaWAN untuk Sistem Monitoring Energi Listrik dengan Modul Komunikasi LoRa". Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan sistem monitoring energi listrik dalam memantau parameter tegangan, arus, dan daya keluaran dari sensor node berbasis LoRaWAN secara efektif, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan operasional PT Vale Indonesia Tbk.

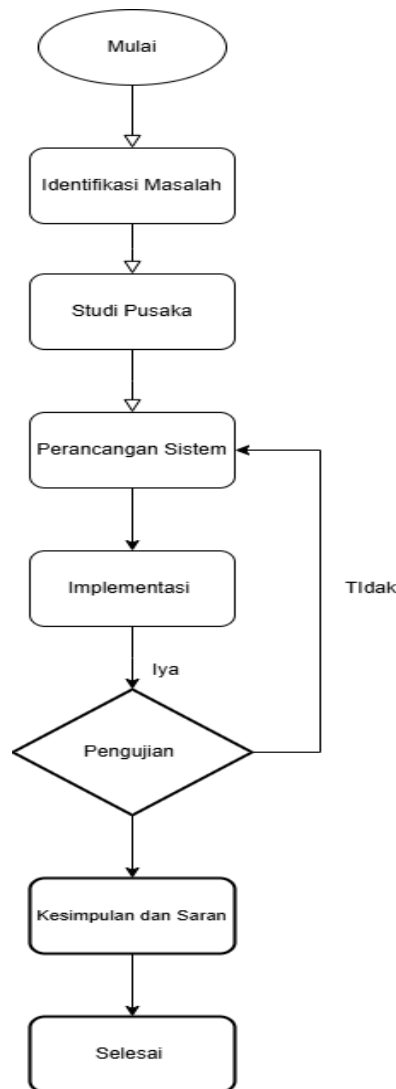
2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yang dilakukan. Adapun serangkaian tahapan dalam pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada gambar diagram 1.

2.1 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dilakukan untuk menganalisis masalah yang akan diatasi. Proses ini juga berfungsi sebagai tahap untuk mengidentifikasi karakteristik dari sistem, sehingga sistem dapat menghasilkan output yang sesuai dengan harapan. Masalah pokok yang dibahas dalam penelitian ini berkaitan dengan cara pemantauan energi listrik yang masih kurang efisien baik dari biaya, instalasi dan kinerja. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, dibutuhkan sebuah sistem pemantauan energi listrik yang terdiri atas perangkat sensor yang dibekali kemampuan komunikasi untuk mengirimkan data. Berdasarkan isu yang dianalisis, sistem ini perlu memiliki sejumlah kebutuhan fungsional, antara lain:

- a) Perangkat node sensor dapat melakukan pengumpulan informasi dari sensor yang memantau energi listrik dengan berbagai parameter seperti faktor daya, daya, arus, tegangan, dan ukuran listrik.
- b) Perangkat node sensor bisa mengirimkan informasi yang sudah dikumpulkan kepada perangkat gateway dengan memanfaatkan modul komunikasi LoRa.
- c) Perangkat gateway dapat menerima informasi dari sensor dan kemudian meneruskan data tersebut ke pusat data melalui protokol MQTT.



Gambar 1. Diagram Metode Penelitian

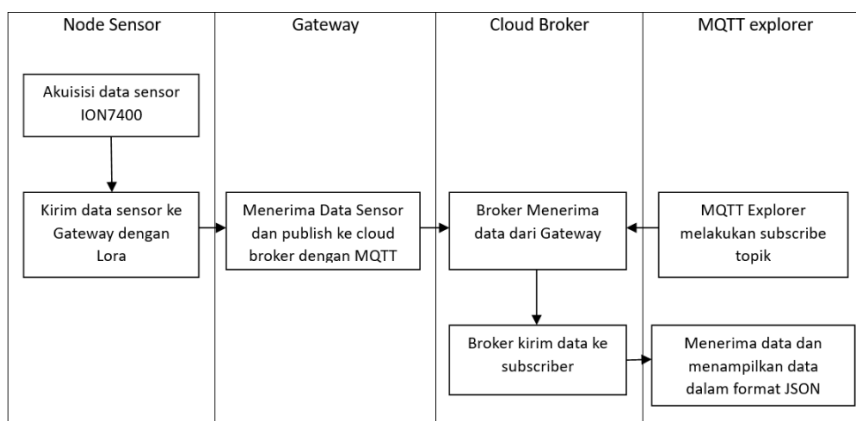
2.2 Studi Literatur

Dalam tahap ini, akan dijelaskan beberapa kebutuhan terkait sumber referensi yang diperlukan untuk merancang sistem pemantauan jarak jauh menggunakan teknologi LoRa guna mengukur arus, tegangan, daya dan energi pada panel distribusi Rumah Sakit PT Vale. Referensi yang telah dikumpulkan akan menjadi pedoman dalam pembuatan sistem agar sistem yang direncanakan dapat direalisasikan.

2.3 Perancangan Sistem dan Alat

Sebelum tahap implementasi, dilakukan perancangan sistem dan perangkat sebagai langkah awal untuk memberikan gambaran tentang proses selanjutnya. Pada tahap ini, dilakukan penggambaran ilustratif mengenai rancangan perangkat yang sesuai dengan kebutuhan pengguna, kemudian rancangan tersebut diwujudkan menjadi bentuk fisik.

Pada Gambar 2. Proses akuisisi data sensor menggunakan sensor Ion Power Meter 7400, di mana data dari sensor-sensor tersebut diambil dan diproses. Data sensor yang telah diakuisisi kemudian dikirim ke *gateway* menggunakan LoRa untuk pengiriman data jarak jauh. *Gateway* berperan sebagai penerima data sensor dan melakukan *publish* data ke *cloud broker* dengan protokol MQTT. *Cloud broker* berfungsi sebagai perantara dalam pertukaran data antara *gateway* dan *subscriber*.



Gambar 2. Alur kerja Pembuatan Sistem Monitoring

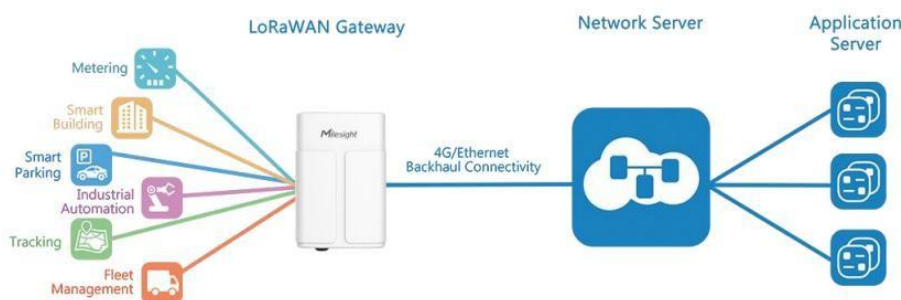
Broker menerima data dari *gateway* dan meneruskannya ke *subscriber* melalui protokol MQTT. MQTT Explorer sebagai *subscriber*, melakukan *subscriber* pada topik yang relevan dengan data sensor yang ingin diterima. MQTT Explorer menerima data yang dikirim oleh *broker* melalui MQTT dan menampilkan data tersebut dalam format JSON.



Gambar 3. Rangkaian Node sensor

Pada Gambar 3 Pada perancangan sistem monitoring energi listrik ini digunakan Milesight UC502 Multi-Interface LoRa Controller sebagai pengendali utama yang berfungsi untuk mengakuisisi data dari ION7400

Power Meter melalui antarmuka RS485 dengan protokol Modbus RTU, di mana UC502 berperan sebagai *Modbus master* dan ION7400 sebagai *slave* yang menyediakan parameter kelistrikan seperti arus, tegangan, daya, faktor daya, frekuensi, serta energi (kWh). Setelah data diperoleh, UC502 mengolah dan membungkusnya ke dalam format payload untuk kemudian ditransmisikan secara nirkabel melalui jaringan LoRaWAN menuju gateway.



Gambar 4. Rangkaian Gateway

Rancangan elektronika ini menggambarkan penggunaan *Milesight UG67 LoRaWAN Gateway* sebagai perangkat utama pada sisi gateway. UG67 berfungsi sebagai penerima data nirkabel dari node sensor melalui jaringan LoRaWAN. Setelah data diterima, gateway akan mengolah serta meneruskan informasi tersebut menuju server atau *cloud* melalui protokol komunikasi MQTT. Selain fungsi utamanya sebagai penerus data, UG67 juga memiliki mekanisme indikator berupa lampu LED status yang berfungsi untuk memberikan informasi kondisi perangkat, seperti koneksi jaringan, status LoRa, maupun status sistem. Indikator ini memudahkan pengguna dalam memantau serta memverifikasi bahwa gateway bekerja dengan baik dalam proses akuisisi dan transmisi data. Dengan demikian, penggunaan UG67 sebagai gateway tidak hanya meningkatkan keandalan sistem komunikasi data sensor, tetapi juga memberikan kemudahan dalam pengawasan operasional, sehingga keseluruhan sistem monitoring energi dapat berjalan secara efektif dan efisien.

2.4 Implementasi Sistem

Tahap ini adalah tahap implementasi perangkat, yang melibatkan proses perakitan atau penggabungan semua komponen yang telah disiapkan sesuai dengan skema rangkaian yang telah dirancang sebelumnya.

2.5 Pengujian Sistem

Setelah proses pemrograman selesai dilakukan pengujian sistem, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian guna memastikan bahwa fungsi dan hasil program sesuai dengan harapan. Pengujian dilakukan dengan memasang perangkat *node* LoRa pada panel distribusi Rumah Sakit PT Vale dan *gateway* LoRa di menara Bandara Sorowako dan diuji dalam kondisi NLOS (*Non Line Of Sight*). Hasil dari pengujian ini akan diamati melalui MQTT Explorer yang akan melampirkan data dengan format JSON.

2.6 Analisis Data

Data pengukuran energi listrik bersumber dari ION7400 yang berfungsi sebagai power meter. Parameter yang dicatat meliputi tegangan dan arus pada masing-masing fasa, daya aktif, daya reaktif, daya semu, faktor daya, serta akumulasi energi listrik dan data ini akan dibaca dalam MQTT Explorer dalam bentuk format JSON.

Selanjutnya, data komunikasi LoRa yang diperoleh melalui Gateway UG67 dan Milesight UC502 dianalisis untuk menilai kualitas kanal transmisi. Parameter komunikasi yang diamati mencakup nilai Received Signal Strength Indicator (RSSI) dan Signal to Noise Ratio (SNR). Nilai RSSI dianalisis untuk mengetahui kekuatan sinyal yang diterima gateway dari perangkat pengukur, sedangkan SNR digunakan untuk menilai kejernihan sinyal dan tingkat interferensi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem monitoring energi listrik berbasis teknologi LoRaWAN dengan memanfaatkan modul komunikasi LoRa sebagai media transmisi data. Sistem ini dirancang untuk menggantikan metode monitoring konvensional berbasis LAN yang dianggap kurang efisien, terutama dalam hal cakupan, instalasi, dan biaya.

Implementasi sistem monitoring dilakukan dengan mengintegrasikan perangkat Power Meter ION7400, Controller UC502 Milesight, Gateway UG67, serta MQTT Explorer sebagai pusat pengolahan dan visualisasi data. Pemanfaatan jaringan LoRaWAN memberikan keunggulan dalam hal jangkauan komunikasi yang luas, konsumsi daya rendah, serta fleksibilitas instalasi pada wilayah yang belum terjangkau oleh infrastruktur LAN.

3.1 Peta lokasi Implementasi LoRaWAN

Berdasarkan peta citra satelit pada Gambar 5, terlihat posisi kedua titik implementasi yang dihubungkan melalui jaringan LoRaWAN. Titik pengiriman di Rumah Sakit berfungsi untuk mengirimkan data monitoring energi listrik secara periodik, sedangkan titik penerima di Bandara berperan sebagai pengumpul data yang selanjutnya dikirim ke server. Implementasi sistem LoRaWAN pada penelitian ini dilakukan dengan menempatkan titik pengiriman (transmitter node) di area Rumah Sakit dan titik penerima (gateway) di area Bandara.



Gambar 5. Peta Lokasi Implementasi LoraWAN antara Rumah Sakit (Pengirim) dan Bandara (Penerima).

Pemilihan kedua lokasi ini didasarkan pada pertimbangan jarak, kondisi geografis, serta minimnya halangan fisik yang dapat mengganggu transmisi sinyal. Rumah sakit dipilih sebagai titik pengiriman karena memiliki beban energi listrik yang relatif besar dan variatif, sehingga data pemakaian energi perlu dimonitor secara real-time. Sementara itu, bandara dipilih sebagai titik penerima karena memiliki menara yang tingginya 20 meter yang membuat masing-masing device LoraWAN dapat berkomunikasi.

3.2 Simulasi Hasil Coverage Menggunakan Radio Mobile

Pada peta ini, titik ungu berperan sebagai gateway atau penerima yang terletak di Bandara Sorowako dapat dilihat pada Gambar 6. Posisi ini strategis karena berada di dataran terbuka sehingga pancaran sinyal dapat menjangkau pusat kota dan area sekitarnya dengan kekuatan maksimal. Cakupan terbaik terlihat pada area berwarna hijau pekat yang mencakup sebagian besar permukiman, fasilitas publik, dan jalur utama transportasi. Namun, pada area berwarna hijau muda hingga kuning, kekuatan sinyal mulai menurun, khususnya di wilayah timur laut seperti Sumasangi serta bagian barat daya yang terhalang kontur bukit.

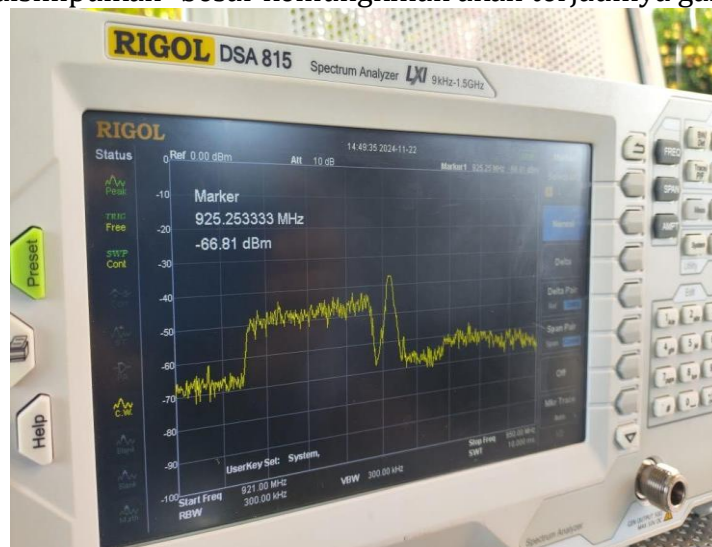


Gambar 6. Tampilan Coverage Gateway yang terdapat dibandara Beberapa titik putih atau abu-abu menandakan adanya blind spot akibat

hambatan topografi yang memblokir jalur propagasi sinyal langsung dari gateway. Secara keseluruhan, jaringan dari titik ungu mampu memberikan layanan yang baik di area inti kota, tetapi masih memerlukan optimasi untuk wilayah tepi.

3.3 Tampilan Interfensi untuk menentukan Frekuensi Kerja

Frekuensi terukur adalah 925.293533 MHz dengan Level daya -66.81 dBm. Tampilan grafik pada Gambar 7 menunjukkan puncak sinyal di sekitar frekuensi LoRaWAN yang umum digunakan di Indonesia (920–923 MHz, masuk pita ISM) dan disini kami menyimpulkan bahwa untuk frekuensi 922– 923 MHz masih dapat digunakan dikarenakan blum ada yang mengisi frekuensi tersebut, Karena jika sudah ada yang mengisi dapat disimpulkan besar kemungkinan akan terjadinya gangguan.



Gambar 7. Menentukan Frekuensi Kerja Menggunakan Frequency Analyzer

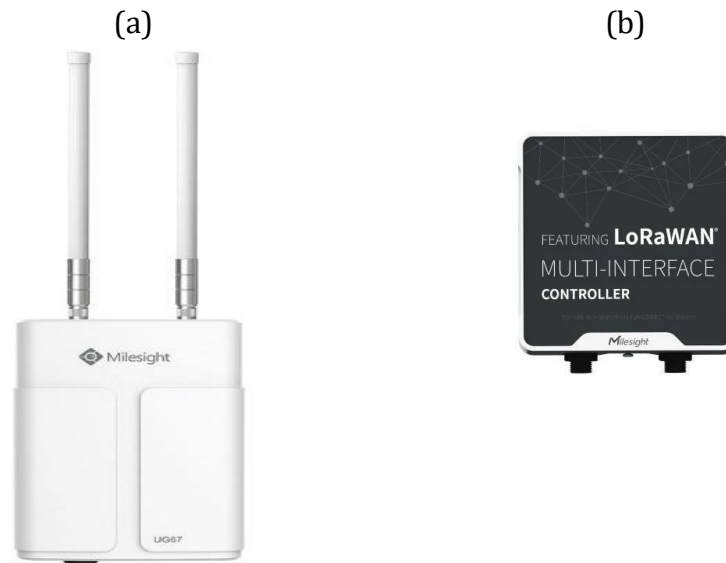
3.4 Pengujian Komunikasi LoRa

a. Deskripsi Pengujian Alat

Dalam pengujian ini perlu mengamati kekuatan sinyal atau nilai RSSI. Nilai RSSI dinyatakan dalam satuan dBm dan nilai tersebut merupakan nilai bilangan negatif. Semakin mendekati angka 0 atau menuju positif, maka kualitas sinyal semakin bagus sedangkan semakin mendekati angka -128 dBm maka kualitas sinyal semakin buruk. Dan mengukur SNR yang menggunakan SF7 ambang batas minimal SNR untuk SF7 adalah

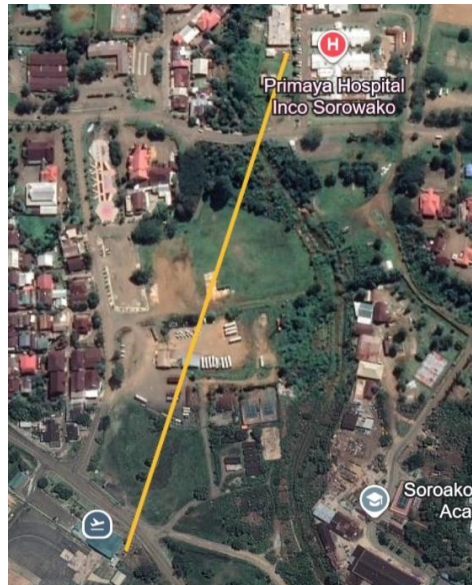
sekitar $-7,5$ dB dan jika SNR berada di rentang 0-10 dB kualitas komunikasi dinyatakan baik.

Pada pengujian sistem komunikasi LoRa dilakukan dengan terlebih dahulu mengambil data pengukuran jarak komunikasi antara LoRa. Pemancar dengan LoRa Penerima. Kedua alat tersebut akan ditempatkan pada tempat yang berbeda sejauh jarak yang sudah ditentukan. Alat tersebut terdiri dari beberapa komponen yaitu Gateway UG67 adapun antena external yang digunakan yang memiliki Gain sebesar 4,5 dBi dan akan terhubung PoE sebagai *powersupply*. Berikut adalah bentuk alatnya ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Alat penerima (a) dan pemancar (b)

Pada pengujian ini titik LoRa penerima berada di Bandara Sorowako sedangkan titik LoRa pemancar ditempatkan di Rumah Sakit Inco PT Vale yang berjarak 1 km. Pengujian ini dilakukan dengan kondisi LOS yang artinya tidak ada daerah *fresnel* sepanjang lintasan gelombang radio. Pengujian ini dilakukan untuk melihat pengaruh dari jarak pada sinyal yang dikirim dalam hal indikator kekuatan sinyal yang diterima RSSI, seberapa jauh jangkauan yang diperoleh oleh komunikasi LoRa serta menghitung nilai RSLnya. Pengujian dilakukan mengikuti jalan lurus sesuai dengan gambar peta google earth ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Tampilan tempat pengujian LoRa menggunakan Google Earth

Berikut ini hasil pengujian dengan indikator RSSI dan SNR yang dibaca dari parameter LoRa.

b. Data hasil pengujian dan analisis

Tabel 1. Data Hasil pengujian RSSI dan SNR

No	Waktu	RSSI (dBm)	SNR (dB)
1	2025-09-04 14:45:20	-97.0	-6.0
2	2025-09-04 14:41:52	-96.0	-5.2
3	2025-09-04 14:39:24	-96.0	-8.8
4	2025-09-04 14:35:22	-96.0	-5.0
5	2025-09-04 14:34:24	-97.0	-5.5
6	2025-09-04 14:19:22	-97.0	-4.5
7	2025-09-04 14:08:51	-97.0	-7.2
8	2025-09-04 14:06:26	-94.0	-8.8

Dari data tabel 1 di atas menunjukkan hasil pengukuran nilai RSSI dan SNR komunikasi LoRa. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa selama pengujian, nilai RSSI berada pada rentang -94 dBm hingga -97 dBm dengan rata-rata sekitar -96 dBm, sedangkan nilai SNR berkisar antara -4.5 dB hingga -8.8 dB. Nilai RSSI tersebut berada di atas batas sensitivitas minimum modul LoRa yang umumnya mencapai -120 dBm, sehingga perangkat masih mampu melakukan komunikasi. Berdasarkan standar kualitas sinyal, nilai RSSI pada kisaran ini dapat dikategorikan dalam kondisi *fair* (cukup), meskipun SNR yang seluruhnya negatif menunjukkan bahwa sinyal berada di bawah

tingkat derau (*noise*). Kondisi ini dimungkinkan karena teknologi modulasi *chirp spread spectrum* yang digunakan LoRa dapat mempertahankan komunikasi pada SNR rendah, bahkan hingga -20 dB. Nilai SNR yang fluktuatif, seperti -4.5 dB hingga -

8.8 dB, mengindikasikan adanya gangguan lingkungan atau interferensi frekuensi lain di sekitar 920–923 MHz. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan kondisi ini antara lain adanya hambatan fisik seperti dinding atau pepohonan, serta kondisi cuaca atau kelembaban udara.

c. Perhitungan Link Budget

Pada kali ini akan dilakukan perhitungan FSL dengan persamaan (1) dan perhitungan RSL menggunakan persamaan (2). Dengan sensitivitas penerima -123 dBm, daya pancar LoRa ini sebesar 20 dBm, range RSSI sebesar -127 dB. Sehingga pada jarak 560 m nilai FSL dan RSL dapat dilihat pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Data hasil perhitungan LOS dan NLOS

Percobaan	Jarak (m)	FSL (dB)	RSL (dBm)
LOS	560	-86.64	-62.12
NLOS	560	-86.64	-96.12

Hasil perhitungan menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kondisi *Line of Sight (LOS)* dan *Non-Line of Sight (NLOS)* dalam proses transmisi data menggunakan teknologi LoRaWAN pada jarak 560 meter. Pada kondisi LOS, nilai *Free Space Loss (FSL)* tercatat sebesar - 86,64 dB, sedangkan nilai *Received Signal Level (RSL)* mencapai -62,12 dBm. Nilai ini menunjukkan bahwa daya terima sinyal masih berada pada level yang sangat baik dan jauh di atas batas sensitivitas minimum perangkat LoRa, yaitu sekitar -120 dBm, sehingga transmisi data dapat dilakukan secara optimal tanpa hambatan yang berarti.

Sebaliknya, pada kondisi NLOS, nilai FSL tetap berada pada -86,64 dB karena perhitungan dilakukan berdasarkan jarak dan frekuensi yang sama. Namun, nilai RSL mengalami penurunan yang signifikan menjadi - 96,12 dBm. Penurunan ini disebabkan oleh adanya hambatan fisik seperti bangunan, vegetasi, atau struktur lain yang menghalangi jalur langsung antara pemancar dan penerima. Hambatan-hambatan tersebut menyebabkan terjadinya redaman tambahan (*attenuation*) dan multipath fading, yang pada akhirnya menurunkan kekuatan sinyal yang diterima.

Meskipun terjadi penurunan daya terima pada kondisi NLOS, nilai RSL tersebut masih berada di atas batas sensitivitas penerima LoRa. Hal ini menunjukkan bahwa sistem komunikasi LoRaWAN masih dapat bekerja secara efektif meskipun dalam kondisi lingkungan yang tidak ideal. Hasil ini membuktikan keandalan teknologi LoRaWAN dalam melakukan transmisi data jarak jauh dengan daya rendah, bahkan ketika kondisi propagasi sinyal tidak sepenuhnya mendukung (*non-line of sight*).

3.5 Pengujian IoT

a. Deskripsi pengujian alat

Pada pengujian ini, titik pengujian dilakukan pada panel distribusi yang ada di Rumah Sakit Inco Sorowako, untuk mengetahui hasil terhubung atau tidaknya pengontrolan arus, tegangan dan daya secara jarak jauh.

b. Hasil Pengujian dan Analisis

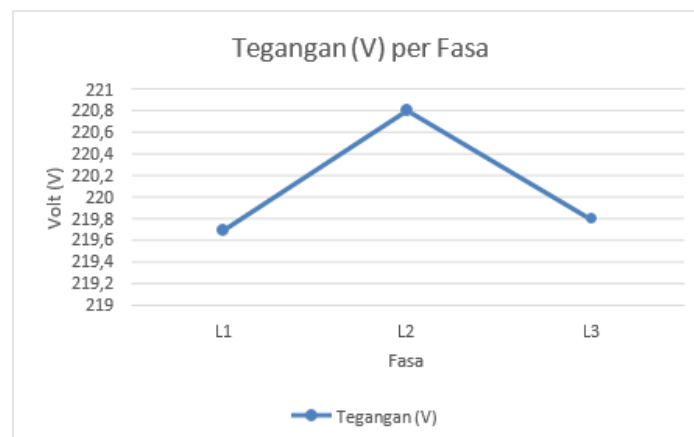
Berikut data hasil pengujian IoT yang telah dilakukan ditunjukkan pada tabel 3 berikut :

Tabel 3. Data hasil pengujian IoT

Data	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	219.7	21.2	4657.64
2	220.8	29.2	6447.36
3	219.8	29.4	6462.12
4	219.9	26.6	5849.34
Rata-rata	220.05	26.6	5854.12

bahwa nilai tegangan fasa terhadap netral (VL1-N, VL2-N, VL3-N) berada pada kisaran 219,7–220,8 volt, dengan rata-rata sebesar 220,05 volt. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem kelistrikan berada dalam kondisi normal dan stabil, mengingat tegangan nominal pada sistem distribusi di lokasi pengujian adalah 220 volt. Perbedaan antar fasa relatif kecil (< 1 volt), yang menandakan keseimbangan beban yang baik pada ketiga fasa.

Secara keseluruhan, analisis terhadap tabel ini menunjukkan bahwa sistem kelistrikan berada dalam kondisi tegangan yang stabil, arus yang relatif seimbang dengan sedikit ketidakseimbangan beban, serta estimasi daya yang masih memerlukan penyesuaian berdasarkan faktor daya. Hasil ini memberikan gambaran awal yang baik terhadap kinerja sistem dan dapat dijadikan acuan untuk pemantauan berkelanjutan maupun optimasi distribusi beban antar fasa.

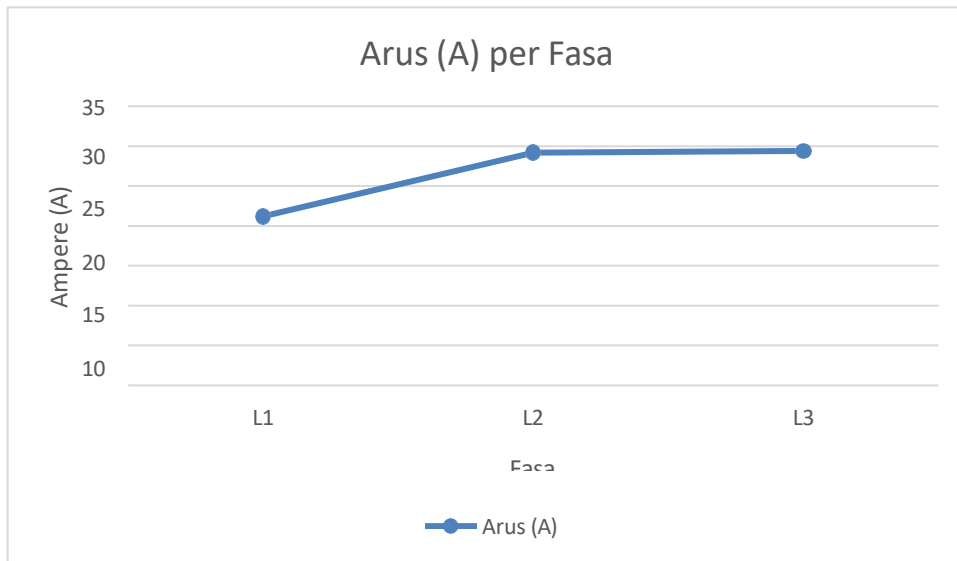


Gambar 10. Grafik data tegangan 3 fasa

Pada Gambar 10 ditunjukkan grafik hasil pengukuran tegangan pada setiap fasa (L1, L2, L3) terhadap netral. Nilai tegangan rata-rata dari ketiga fasa tersebut adalah 220,1 V, yang berada sangat dekat dengan tegangan nominal sistem yaitu 220 V. Perbedaan nilai tegangan antar fasa relatif kecil, hal ini mengindikasikan bahwa kondisi kelistrikan berada dalam keadaan seimbang, sehingga distribusi beban antar fasa cukup merata.

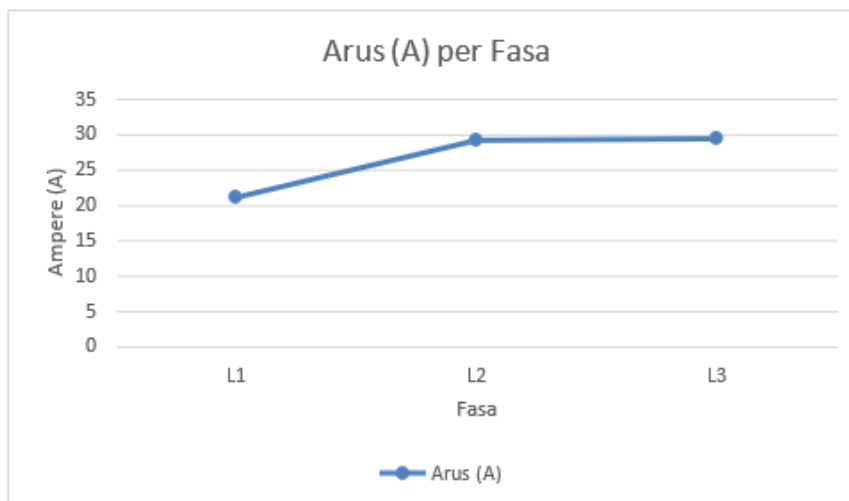
Pada Gambar 11 ditunjukkan grafik hasil pengukuran arus pada setiap fasa (L1, L2, L3). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa arus pada fasa L1 adalah sebesar 21,2 A, pada fasa L2 sebesar 29,2 A, dan pada fasa L3 sebesar 29,4 A. Nilai rata-rata arus dari ketiga

fasa adalah 26,6 A. Dari hasil tersebut terlihat adanya perbedaan arus antar fasa, dengan selisih maksimum sebesar 8,2 A antara fasa L1 (arus terendah) dan fasa L3 (arus tertinggi).



Gambar 11 Grafik data arus 3 fasa

Perbedaan ini menunjukkan adanya ketidakseimbangan beban antar fasa. Ketidakseimbangan beban dapat disebabkan oleh distribusi beban yang tidak merata pada tiap fasa atau karakteristik beban yang berbeda, seperti adanya beban induktif atau kapasitif pada salah satu fasa tertentu, meskipun terdapat perbedaan arus antar fasa, nilai arus yang terukur masih berada dalam batas wajar untuk sistem distribusi tiga fasa di lokasi pengujian.



Gambar 12. Grafik data daya 3 fasa

Pada Gambar 12 ditunjukkan grafik hasil perhitungan daya pada setiap fasa (L1, L2, L3) yang diperoleh dari hasil pengukuran tegangan dan arus pada masing-masing fasa. Perbedaan nilai daya antar fasa terlihat cukup signifikan, dengan fasa L1 memiliki daya yang lebih rendah dibandingkan dua fasa lainnya. Hal ini konsisten dengan hasil pengukuran arus yang menunjukkan bahwa arus pada fasa L1 lebih kecil daripada fasa L2 dan L3. Kondisi ini mengindikasikan adanya ketidakseimbangan beban antar fasa, yang dapat memengaruhi efisiensi sistem distribusi tenaga listrik dan meningkatkan rugi-rugi daya, meskipun nilai daya yang dihasilkan pada ketiga fasa masih dalam

kategori wajar untuk sistem distribusi tiga fasa di lokasi pengujian, ketidakseimbangan beban yang berkelanjutan dapat berdampak negatif terhadap umur peralatan dan kualitas daya. Oleh karena itu, pemantauan beban secara berkala serta redistribusi beban antar fasa dianjurkan untuk mempertahankan kinerja optimal sistem kelistrikan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang berjudul "*Implementasi LoRaWAN untuk Sistem Monitoring Energi Listrik dengan Modul Komunikasi LoRa*", dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Implementasi sistem monitoring berbasis LoRaWAN dengan menggunakan perangkat *Power Meter ION7400*, *Controller UC502 Milesight*, dan *Gateway UG67* terbukti mampu melakukan pemantauan parameter kelistrikan (tegangan, arus, dan daya) secara *real-time* dengan hasil yang akurat dan stabil.
- b. Hasil pengujian parameter komunikasi menunjukkan bahwa nilai RSSI berkisar antara -94 dBm hingga -97 dBm, dan nilai SNR antara -4,5 dB hingga -8,8 dB. Nilai tersebut masih berada dalam batas wajar bagi sistem LoRa, sehingga transmisi data dapat dilakukan dengan andal meskipun terdapat fluktuasi akibat kondisi lingkungan.
- c. Perbandingan hasil pengukuran lapangan dengan perhitungan teoritis menggunakan metode Link Budget menunjukkan adanya selisih (Excess Path Loss) sebesar 32-35 dB. Hal ini menandakan adanya rugi propagasi tambahan akibat faktor lingkungan, namun sistem tetap dapat berfungsi optimal sesuai kebutuhan monitoring di PT Vale Indonesia Tbk.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Shohim. (2019). *ANALISA SISTEM MONITORING TURBIN ANGIN OTOMATIS*.
Badruzzaman, Y., Teknik, J., Politeknik, E., & Semarang, N. (2012). *Real Time Monitoring Data Besaran Listrik Gedung Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang*.
Berbasis, K. H., & Dan, L. (2022). *Desain Dan Implementasi Dashboard Monitoring Sistem Pendeteksi Web Design And Implementation Of Web-Based Forest Fire Detection System Monitoring Dashboards*.
Hamzah, I. H., Bahfiarti, T., Sultan, M. I., Magister, P., & Komunikasi, I. (2023). PERSONAL BRANDING PT. VALE INDONESIA DI INSTAGRAM. *Jurnal Komunikasi Bisnis dan Manajemen*, 10(2).
Haxhibeqiri, J., De Poorter, E., Moerman, I., & Hoebeke, J. (2018). A survey of LoRaWAN for IoT: From technology to application. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 18, Issue 11). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s18113995>
Hidayat Mahdar, F., & Fajrin Bakri, M. (2024). Monitoring dan Kontrol Suhu Berbasis Arduino dan ESP8266 Melalui Web Server. *Computer, Information, Embedded, Network, and Intelligence System*, 2(1). <https://journal.lontaradigitech.com/SCIENTIST>
I Made Bayu Wisnawa. (2024). manuscript1_era+baru+loyalitas+wisata- wisnawa. *Journal of Tourism and Interdisciplinary*.
Kassab, W., & Darabkh, K. A. (2020). A-Z survey of Internet of Things: Architectures, protocols, applications, recent advances, future directions and recommendations.

- Journal of Network and Computer Applications*, 163.
<https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102663>
- Khaerudin, M., Achmad, A., Supriyadi, S., Budi Srisulistiowati, D., Bhayangkara Jakarta Raya, U., & Ilmu Komputer, F. (2023). Rancang Bangun Pintu Otomatis Berbasis Arduino (Studi Kasus: Tk. Bina Mulia). *JURNAL NUANSA INFORMASI*, 17, 2614–5405. <https://doi.org/10.25134/nuansa>
- Kuntke, F., Romanenko, V., Linsner, S., Steinbrink, E., & Reuter, C. (2022). LoRaWAN security issues and mitigation options by the example of agricultural IoT scenarios. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 33(5). <https://doi.org/10.1002/ett.4452>
- Kurose, J. F. ., & Ross, K. W. . (2017). *Computer networking : a top- down approach*. Pearson.
- Noprianto, N., Dien, H. E., Ratsanjani, M. H., & Hendrawan, M. A. (2024). Analysis of LoRa with LoRaWAN Technology Indoors in Polytechnic of Malang Environment. *SISTEMASI*, 13(2), 698. <https://doi.org/10.32520/stmsi.v13i2.3884>
- Nurpadmi. (2010). *STUDI TENTANG MODBUS PROTOKOL PADA SISTEM KONTROL Oleh : Nurpadmi **.
- Shilpa, B., Radha, R., & Movva, P. (2022). Comparative Analysis of Wireless Communication Technologies for IoT Applications. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 806, 383–394. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6448-9_39
- Usman, S., Rozie, F., & Negeri Ketapang, P. (2023). *Desain dan Implementasi Jaringan Sensor Nirkabel berbasis IoT dengan komunikasi LoRa untuk Sistem Monitoring Kualitas Daya dan Energi Listrik*.
- Xuan, L., & Yongzhong, L. (2019). Research and Implementation of Modbus TCP Security Enhancement Protocol. *Journal of Physics: Conference Series*, 1213(5). <https://doi.org/10.1088/1742- 6596/1213/5/052058>
- Yoshua, A., Primananda, R., & Budi, A. S. (2020). *Implementasi Pengiriman Data Multi-Node Sensor Menggunakan Metode Master-slave pada Komunikasi LoRa* (Vol. 4, Issue 10). <http://j- ptiik.ub.ac.id>
- Yuliandra, B., & Jaeba, K. A. (2017). *Perancangan Sistem Informasi Perawatan Mesin Pada PT XYZ*. <http://journal.unpar.ac.id/index.php/jrsi/index>