

Implementasi Scada Pada Monitoring Penggunaan Energi Listrik Di Gedung Teknik Elektro Universitas Merdeka Malang Menggunakan Komunikasi Modbus Via LoRa WAN

Richard John Octavianus S^{1*}, Subairi², Rifki Hari Romadhon²

¹⁻³ Fakultas Teknik, Teknik Elektro, Universitas Merdeka Malang, Indonesia

Korespondensi Penulis : richardsimbolon73@gmail.com

Abstract: Proper management of electrical energy is a crucial factor in efficiently managing energy consumption, a concept that is especially important in facilities like the Electrical Engineering Building at Universitas Merdeka Malang. This research integrates the use of electrical energy monitored with the help of a SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) system through Modbus-LoRa WAN communication. SCADA is an integrative, real-time system for monitoring and control; Modbus is suitable for reliable collaboration, while LoRaWAN excels in providing a long-range wireless system with low power consumption. This system consists of electrical energy sensors, control units, and communication equipment, all used to monitor, process, and convey information related to electricity usage. The paper also reveals the implementation results at the UNMER Electrical Engineering Building, where the system was found to provide real-time information on electrical energy consumption. This implementation should be used as a reference for achieving smarter and more sustainable energy management in other buildings.

Keywords: SCADA, Modbus, LoRa WAN, Energy Monitoring

Abstrak. Pengelolaan energi listrik yang tepat merupakan faktor penting dalam mengelola konsumsi energi listrik secara lebih efisien, konsep yang sangat penting di fasilitas-fasilitas seperti Gedung Teknik Elektro Universitas Merdeka Malang. Penelitian ini menggabungkan penggunaan energi listrik yang dipantau dengan bantuan sistem SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) melalui komunikasi Modbus-LoRa WAN. SCADA adalah sistem integratif dan waktu nyata untuk pemantauan dan pengendalian, Modbus cocok untuk kolaborasi yang andal, sementara LoRaWAN unggul dalam menyediakan sistem nirkabel jarak jauh. Sistem ini terdiri dari sensor energi listrik, unit kontrol, dan peralatan komunikasi yang semuanya digunakan untuk memantau, memproses, dan menyampaikan informasi terkait penggunaan listrik. Makalah ini juga mengungkapkan hasil implementasi di Gedung Teknik Elektro UNMER, di mana sistem yang diidentifikasi dapat menyediakan informasi waktu nyata tentang konsumsi energi listrik. Implementasi ini sebaiknya digunakan sebagai referensi untuk mencapai cara yang lebih cerdas dan berkelanjutan dalam mengelola energi di gedung-gedung lainnya.

Kata kunci: SCADA, Modbus, LoRa WAN, Monitoring Energi.

LATAR BELAKANG

Penelitian ini fokus pada penerapan SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) untuk memantau penggunaan energi listrik di Gedung Teknik Elektro Universitas Merdeka Malang (UNMER) serta menganalisis performa komunikasi Modbus melalui LoRaWAN. Penggunaan energi listrik yang berlebihan tidak hanya meningkatkan biaya, tetapi juga memperbesar jejak karbon, memperburuk perubahan iklim, dan merusak lingkungan (D. E. Putra 2021).

Banyak organisasi kini menyadari pentingnya penggunaan energi yang berkelanjutan dan mulai menggunakan sistem pemantauan canggih. SCADA

menyediakan solusi terintegrasi untuk pemantauan dan pengendalian energi yang efisien. Gedung Teknik Elektro UNMER merupakan tempat yang ideal untuk menganalisis penggunaan energi listrik, dengan potensi peningkatan efisiensi melalui penerapan SCADA. Penggunaan protokol komunikasi Modbus melalui LoRaWAN menawarkan solusi komunikasi nirkabel yang efisien dan andal, mengatasi keterbatasan kabel tradisional. LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) sangat menjanjikan karena jangkauannya yang luas dan konsumsi daya rendah. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan berharga mengenai efektivitas SCADA dalam meningkatkan efisiensi energi serta kontribusinya pada pengembangan teknologi pemantauan energi yang lebih canggih dan berkelanjutan.

KAJIAN TEORITIS

1. Monitoring Energi

Monitoring adalah praktik mengawasi kinerja aktivitas yang sedang berlangsung dan merupakan bagian penting dari pengawasan. Monitoring energi, misalnya, menyediakan informasi tentang penggunaan energi listrik dalam peralatan. Ini penting karena sulit mengetahui seberapa efisien energi digunakan, sering kali menyebabkan pemborosan. Aplikasi monitoring energi dikembangkan untuk memberikan informasi yang akurat dan efektif tentang penggunaan energi. Parameter seperti arus (I), frekuensi (F), dan faktor daya (PF) perlu dipantau untuk memahami kinerja peralatan secara keseluruhan. Tegangan, frekuensi, dan faktor daya juga penting karena memengaruhi efisiensi dan kinerja peralatan listrik (Budiman, Jupriyadi and Sunariyo 2021).

2. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

SCADA adalah sistem kontrol industri yang memungkinkan pengawasan dan pengendalian proses secara efisien dari jarak jauh, yang dapat dikendalikan melalui komputer atau internet. Dengan mengumpulkan data secara langsung dari berbagai sumber, SCADA membantu operator dalam memantau kinerja sistem, mengidentifikasi masalah potensial, dan bahkan menjalankan kontrol otomatis untuk meningkatkan efisiensi produksi. Selain itu, SCADA juga dapat terintegrasi dengan sistem lain seperti manajemen energi atau manufaktur cerdas, mendukung transformasi digital dalam industri dengan menyediakan konektivitas yang lebih baik dan kemampuan untuk

mengambil keputusan berdasarkan analisis data waktu nyata (Budiman, Jupriyadi and Sunariyo 2021).

3. Faktor Daya

Faktor daya merupakan indikator efisiensi penggunaan listrik, didefinisikan sebagai rasio antara daya aktif (watt) dan daya semu (volt-ampere). Konsep ini juga dapat direpresentasikan sebagai sudut kosinus antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya yang mendekati 1 menunjukkan efisiensi tinggi, sementara nilai mendekati 0 mengindikasikan pemborosan energi yang signifikan. Pentingnya faktor daya terletak pada kemampuannya untuk mengukur efektivitas penggunaan daya listrik. Semakin tinggi faktor daya, semakin efisien penggunaan listrik tersebut. Sebaliknya, faktor daya rendah menandakan adanya daya reaktif yang tinggi, yang berarti banyak energi terbuang (Saralina and Chayono 2022). Untuk menghitung faktor daya, digunakan rumus:

$$\text{Faktor Daya (PF)} = (\text{Daya Aktif (P)})/(\text{Daya Semu (S)})$$

4. Daya Aktif (P)

Daya aktif adalah energi yang sebenarnya digunakan untuk melakukan pekerjaan, seperti menyalakan lampu atau menggerakkan motor. Satuan daya aktif adalah watt (W), untuk mencari daya aktif maka tegangan (V) dikalikan Arus (I) dikalikan Faktor Daya ($\cos \phi$) (Saralina and Chayono 2022).

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi$$

5. Power Meter RS-485 Modbus RTU



Gambar 1. Power Meter RS-485 Modbus RTU

Power meter pada Gambar 1 merupakan alat digital serbaguna yang mampu menggantikan berbagai macam perangkat pengukur, relevan, transduser, dan komponen

lainnya. Alat ini menggunakan komunikasi RS-485 (protokol Modbus RTU) yang terintegrasi dalam setiap pemantauan daya dan sistem kendali (Mulia 2022).

6. Heltec HRI -485

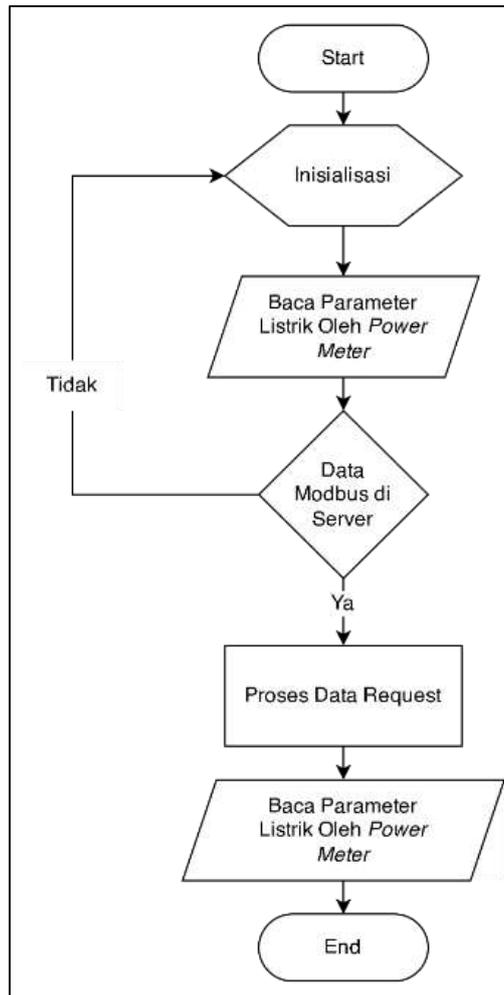


Gambar 2. Heltec HRI-485

Heltec HRI-485 seperti pada Gambar 2 bertujuan untuk mengirim data dari Power Meter yang telah diubah menjadi data LoRa yang akan dikirimkan ke LoRa WAN Gateway.

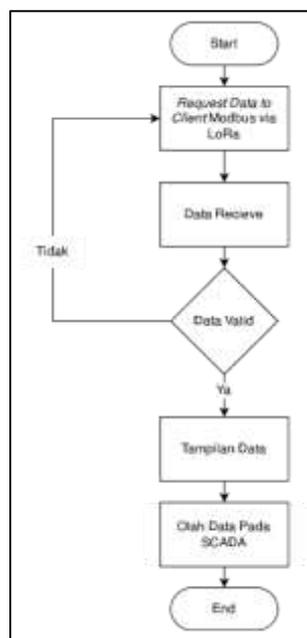
7. LoRa WAN

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) adalah protokol komunikasi nirkabel untuk perangkat IoT dengan konsumsi daya rendah. Keunggulan utamanya meliputi jangkauan luas hingga beberapa kilometer tanpa penguat sinyal, konsumsi daya rendah yang memungkinkan operasi baterai bertahun-tahun, dan skalabilitas tinggi untuk menghubungkan ribuan perangkat secara bersamaan. LoRaWAN menggunakan teknologi spread spectrum untuk transmisi data yang andal, bahkan di lingkungan dengan interferensi tinggi. Protokol ini memanfaatkan infrastruktur yang sudah ada, seperti menara telekomunikasi, untuk meminimalkan biaya implementasi dan memperluas jangkauan jaringan. Aplikasi LoRaWAN mencakup pemantauan lingkungan, manajemen aset, dan monitoring infrastruktur. Dengan kemampuannya yang efisien dan dapat diandalkan, LoRaWAN menjadi solusi populer untuk membangun jaringan IoT yang luas dan hemat energi di berbagai lingkungan, dari perkotaan hingga pedesaan (Fuentes, et al. 2021).

8. *Flowchart* Penelitian

Gambar 3. Flowchart pengambilan data dikirim ke server via LoRa

Gambar 3 Flowchart menggambarkan proses pengambilan dan pengiriman data listrik ke server. Sistem diinisialisasi, lalu Power meter membaca parameter listrik. Data yang tersedia di server melalui protokol Modbus akan diproses lebih lanjut. Jika tidak tersedia, sistem kembali membaca parameter. Setelah data terbaca, sistem mengolahnya sesuai kebutuhan. Data yang telah diproses dikirim ke server menggunakan teknologi LoRa. Keunggulan utama sistem ini adalah efisiensi dalam pengelolaan dan transmisi data listrik, memanfaatkan teknologi LoRaWAN yang memungkinkan komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah.



Gambar 4. Flowchart proses pengiriman Modbus menuju SCADA.

Flowchart pada Gambar 4 mengilustrasikan proses komunikasi dan pengolahan data menggunakan teknologi LoRa dan sistem SCADA. Proses diawali dengan pengiriman permintaan data kepada klien Modbus melalui jaringan LoRa. Setelah data diterima, sistem melakukan verifikasi kevalidan. Data yang valid ditampilkan dan diolah lebih lanjut pada sistem SCADA, sementara data tidak valid mungkin memerlukan pemrosesan tambahan. Proses ini berulang hingga seluruh data yang diperlukan terkumpul atau kondisi akhir tercapai, menggambarkan siklus komunikasi dan pengolahan data yang berkelanjutan dalam sistem

HASIL

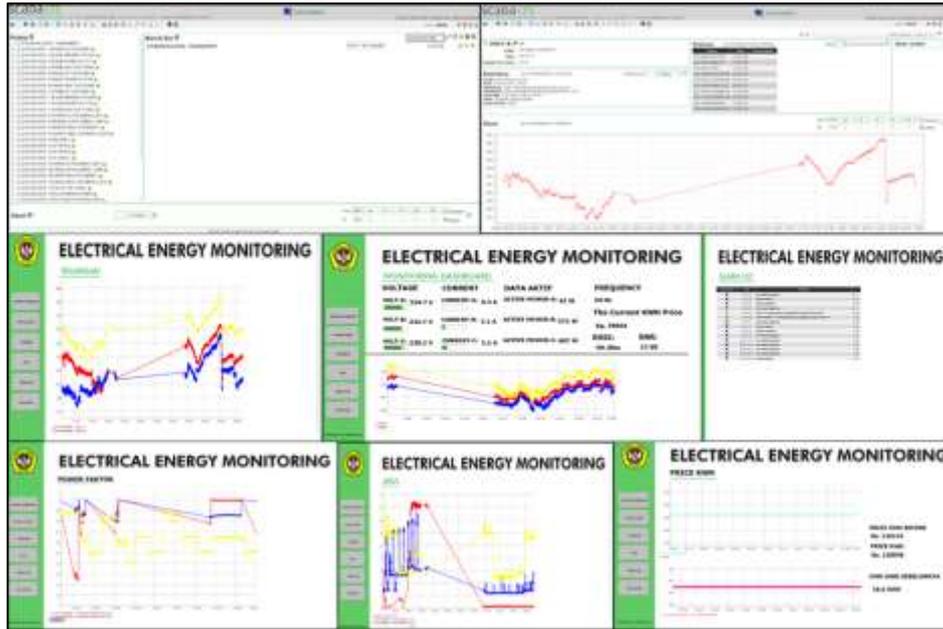
1. Rancangan Panel



Gambar 5. Panel Utama dan Rancangan Panel Power Meter

Panel dirancang untuk dipasang di Ruang Lab Baca Gedung Teknik Elektro, Universitas Merdeka Malang. Panel tersebut dilengkapi dengan Power Meter RS 485 Modbus RTU yang terhubung ke tiga fase dan Lora Wireless Converter untuk pengiriman data. Panel Utama yang terpasang berfungsi sebagai sumber listrik utama gedung dan telah terintegrasi dengan Panel Power Meter. Rancangan panel ada pada Gambar 5.

2. Hasil Desain Scada-LTS



Gambar 6. Desain Scada-LTS

Scada-LTS merupakan sistem yang dirancang untuk memudahkan pemantauan penggunaan energi listrik di Gedung Teknik Elektro. Sistem ini memiliki beberapa fitur utama yang memungkinkan pengamatan yang lebih rinci dan efisien. Fitur Watchlist berfungsi untuk menampilkan dan memantau point-point tertentu secara detail. Graphic Views menjadi tampilan utama pada PC, menampilkan berbagai informasi penting seperti grafik tegangan, nilai tegangan dan arus untuk fase A, B, dan C, daya aktif, frekuensi, serta harga kWh yang sedang berlangsung. Tampilan Power Factor menunjukkan grafik rasio daya nyata terhadap daya semu, dengan nilai berkisar antara 0 hingga 1 (Putra, et al. 2023). Fitur Tegangan menampilkan diagram tegangan fase A, B, dan C dengan batasan maksimal dan minimal yang telah ditentukan. Sementara itu, tampilan Arus memperlihatkan grafik arus dari ketiga fase dengan batasan maksimal berdasarkan MCB. Alarm List berfungsi untuk menampilkan riwayat alarm dan alarm yang sedang terjadi, dengan opsi untuk mematikan atau membisukan alarm. Fitur Price KWH menampilkan

harga kWh berdasarkan rumus yang telah ditentukan, menggunakan tarif sesuai dengan golongan tarif listrik untuk keperluan bisnis menengah. Dengan fitur-fitur tersebut, Scada-LTS menyediakan solusi komprehensif untuk pemantauan dan pengelolaan energi listrik secara efektif dan efisien.

3. Hasil Kalibrasi Power Meter Menggunakan Alat Ukur

Untuk menguji kesalahan pada Power Meter, dilakukan pengukuran menggunakan alat ukur. Hasil pengukuran tegangan dan arus menggunakan tang ampere dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan pengukuran Arus menggunakan alat ukur

No.	Tang Ampere (A)	Power Meter (A)	Error (%)	Ruangan Terpakai	Keterangan
1	IA: 10,8 IB: 14,5 IC: 18,6	IA: 9,6 IB: 14,2 IC: 17,9	IA: 1,2 IB: 0,3 IC: 0,7	Ruang Baca, Ruang 3.1, Ruang 3.2, Ruang 3.3, Ruang 3.4, Ruang Dosen, Hall Elektro, Ruang TU, Lab Telkom	AC dan lampu, digunakan pada Ruang Baca, Ruang 3.1, Ruang 3.2, Ruang 3.3, Ruang 3.4, Ruang Dosen, Ruang TU. Pada Lab. Telkom dan Hall Elektro hanya lampu saja
2	IA: 10,7 IB: 15,1 IC: 12,2	IA: 9,5 IB: 14,5 IC: 11,4	IA: 1,2 IB: 0,6 IC: 0,8	Ruang 3.1, Ruang 3.2, Ruang 3.3, Ruang 3.4, Ruang Dosen, Hall Elektro, Ruang TU, Lab. Telkom	AC dan lampu, digunakan pada Ruang 3.1, Ruang 3.2, Ruang 3.3, Ruang 3.4, Ruang Dosen, Ruang TU. Pada Lab. Telkom dan Hall Elektro hanya lampu saja
3	IA: 9,6 IB: 14,3 IC: 17,1	IA: 9,4 IB: 13,8 IC: 15,7	IA: 0,2 IB: 0,5 IC: 1,4	Ruang Baca, Hall Elektro, Ruang Dosen, Ruang TU	AC dan lampu digunakan pada Ruang Baca, Ruang Dosen dan Ruang TU. Pada Hall Elektro hanya lampu saja

Pengukuran arus listrik dilakukan di berbagai ruangan dalam fasilitas, berfokus pada tiga fase (A, B, dan C) dengan beberapa sampel. Pengujian juga mencakup pengukuran tegangan pada fasa ke netral dan fasa ke fasa. Hasil pengukuran arus listrik tercatat dalam Tabel 1, sementara hasil uji tegangan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan pengukuran tegangan menggunakan alat ukur

No.	Tang Ampere (V)	Power Meter (V)	Error (%)
1	V A: 230 V B: 228 V C: 234	V A: 229,7 V B: 226,3 V C: 233,5	V A: 0,3 V B: 1,7 V C: 0,5
2	V AB: 399 V BC: 406 V CA: 409	V AB: 397,8 V BC: 393,4 V CA: 405,0	V AB: 1.2 V BC: 12.6 V CA: 4

Tabel 2 menyajikan perbandingan hasil pengukuran tegangan listrik menggunakan tang ampere dan power meter. Pengukuran dilakukan dalam dua tahap. Pada tahap pertama, tegangan diukur untuk fase A, B, dan C dengan perbedaan 0,3 V hingga 1,7 V. Pada tahap kedua, pengukuran dilakukan untuk fase AB, BC, dan CA dengan perbedaan 1,2 V hingga 12,6 V. Meskipun hasil pengukuran dari kedua alat umumnya konsisten, terdapat beberapa perbedaan kecil yang perlu diperhatikan dalam analisis lebih lanjut.

4. Hasil Pengamatan Dari Power Meter

Tabel analisa hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3, data penelitian diambil pada Senin, 1 Juli 2024 pukul 09.15 sampai dengan pukul 09.44.

Tabel 3. Pengamatan Nilai Pada Power Meter

Waktu	Tegangan (V)			Arus (I)			Daya Aktif (P)			Faktor Daya ($\cos \phi$)		
	A (V)	B (V)	C (V)	A (A)	B (A)	C (A)	A (W)	B (W)	C (W)	A	B	C
09.15	231,3	227,2	236,3	2,00	2,79	11,16	346	570,2	2262,6	0,75	0,9	0,86
09.22	230,5	227,3	236,5	5,7	3,15	11,4	328	666,0	2345,0	0,25	0,93	0,87
09.25	232,1	226,4	235,5	1,3	8,1	16,24	265	1556,6	2333,8	0,88	0,85	0,61
09.28	232,2	227,2	234,9	0,15	11,1	13,28	33,0	2452,9	1466,3	0,95	0,97	0,47
09.34	231,9	226,8	236,0	0,3	4,0	14,30	57,7	799,1	1784,9	0,83	0,88	0,53
09.38	231,5	226,6	235,3	0,45	5,6	11,6	78,1	1053,9	2297,4	0,75	0,83	0,84
09.41	231,5	227,5	234,8	0,4	8,4	11,64	78,7	1437,1	1743,1	0,85	0,79	0,64
09.44	231,7	227,1	234,3	0,0	7,4	11,9	0,0	1680,5	1537,2	1	1	0,55

Tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran tegangan, arus, daya aktif, dan faktor daya pada tiga fase (A, B, dan C) pada beberapa waktu yang berbeda. Dari data yang ditampilkan, tegangan pada ketiga fase relatif stabil dengan sedikit fluktuasi. Arus menunjukkan variasi yang lebih signifikan, terutama pada fase B dan C, yang mencapai nilai puncak 16,24 A pada fase C pukul 09.25. Daya aktif juga bervariasi, dengan nilai tertinggi tercatat pada fase B pukul 09.28 sebesar 2452,9 W. Faktor daya pada fase A dan C cenderung rendah, berkisar antara 0,0 hingga 0,88, sedangkan fase B lebih konsisten

dengan nilai mendekati 1. Kesimpulannya, terdapat variasi yang signifikan pada arus dan daya aktif antara ketiga fase, sementara faktor daya menunjukkan adanya ketidakstabilan yang perlu ditinjau lebih lanjut.

5. Hasil Pengiriman Data RS-4851 LoRa Gateway 915 MHz

Pengukuran performa komunikasi Modbus melalui LoRa WAN dilakukan dengan mengambil data Size (byte), RSSI (dBm), dan SNR (db). Hasil pengamatan pengiriman data dari RS-4851 ke LoRa Gateway 915 telah didokumentasikan dalam bentuk tabel.

No.	Jarak (Meter)	RSSI (dBm)	SNR (db)	Size (byte)	RSSI (mW)	SNR (mW)
1	2	-99	12	154	1.26×10^{-10}	15.85
2	12	-112	4	154	6.31×10^{-12}	2.51
3	22	-108	8	154	$1,58 \times 10^{-11}$	6.31
4	35	-112	5	154	6.31×10^{-12}	3.16
5	63	-	-	-	-	-

Berdasarkan analisis data pada Tabel 4, terdapat korelasi antara jarak, kekuatan sinyal (RSSI), dan rasio sinyal terhadap derau (SNR) (Widyartono, H and Ariwibowo 2023). Pada jarak 2 meter, RSSI adalah -99 dBm dengan SNR 12 dB. Seiring bertambahnya jarak, kualitas sinyal menurun. Pada jarak 12 meter, RSSI menurun menjadi -112 dBm dan SNR menjadi 4 dB. Pada jarak 22 meter, terjadi sedikit peningkatan dengan RSSI -108 dBm dan SNR 8 dB. Pada jarak 35 meter, RSSI kembali ke -112 dBm dengan SNR 5 dB. Tidak ada data untuk jarak 63 meter, dapat disebabkan karena tidak terjadi transmisi data.

KESIMPULAN

Penerapan sistem SCADA di Gedung Teknik Elektro UNMER bertujuan untuk memantau penggunaan energi listrik secara real-time. Sistem ini memungkinkan perolehan data konsumsi energi listrik, meliputi Tegangan (V), Arus (I), Faktor Daya ($\cos \theta$), dan Harga per KWH.

Hasil pengujian komunikasi Modbus Via LoRa menunjukkan bahwa jarak antara pengirim dan penerima sinyal mempengaruhi kualitas komunikasi. Semakin jauh jarak, kekuatan sinyal yang diterima (RSSI) dan rasio sinyal terhadap kebisingan (SNR) cenderung menurun. Sebagai contoh, nilai RSSI menurun dari -99 dBm pada jarak 2 meter menjadi -112 dBm pada jarak 12 meter, sementara SNR menurun dari 12 dB

menjadi 4 dB pada jarak yang sama. Fenomena penurunan kualitas sinyal ini dapat mempengaruhi kinerja komunikasi nirkabel. Berdasarkan pengamatan, jarak terjauh untuk LoRa Gateway menerima sinyal dari HRI-4851 adalah 63 meter.

DAFTAR REFERENSI

- Budiman, Arief, Jupriyadi, and Sunariyo. "Sistem Informasi Monitoring dan Pemeliharaan Penggunaan Scada (Supervisory Control and Data Acquisition)." *Jurnal TEKNO KOMPAK*, Vol. 15, No. 2, 2021: 168-179.
- Fuertes, Juan José, Miguel Ángel Prada, José Ramón Rodríguez-Ossorio, Raúl González-Herbón, Daniel Pérez, and Manuel Domínguez. "Environment for Education on Industry 4.0." *IEEE Access* 9 (2021).
- Mulia, Mochammad. "Monitoring Besaran Listrik dan Suhu Menggunakan Power Meter dan Temperature Controller Berbasis SCADA pada Simulasi Sistem Pemanas." *JUS TEKNO (Jurnal Sains dan Teknologi)* 6, no. 2 (2022).
- Putra, Dian Eka. "Kiat-Kiat Efisiensi Penggunaan Energi Listrik Di Masa Pandemi Covid 2019." 2021: 6.
- Putra, Febi Ariefka Septian, Nanang Mulyono, Toto Tohir, Dwi Septiano, and Sofyan Muhammad Ilman. "Desain dan implementasi modul praktikum SCADA untuk otomasi gedung berbasis Ethernet." *JITEL (Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, dan Listrik Tenaga)*, September 2023: 221-234.
- Saralina, Maya, and Bagus Dwi Chayono. "Perancangan Panel Kapasitor Bank 1200 KVar PT. Tiga Kreasi Indonesia." *JURNAL JUIT* 1, no. 3 (2022): 34.
- Widyartono, Mahendra, Aditya Chandra H, and Widi Ariwibowo. "Monitoring Energi Listrik Generator Tenaga Surya Portabel Berbasis IoT Untuk Kebutuhan Listrik di Daerah Bencana." *Jurnal Teknik Elektro, Volume12, Nomor2*, 2023: 93.