

Sistem Monitoring Daya Listrik untuk Konsumen di Lingkungan Perumahan Menggunakan LoRa SX1278 dan *Internet of Things* Berbasis Node Red.

Safira Tri Handini Ainul

D4 Teknik Listrik, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya
Email: safira.20010@mhs.unesa.ac.id

Ayusta Lukita Wardani, Widi Aribowo, Nur Vidia Laksmi

D4 Teknik Listrik, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya
Email: ayustawardani@unesa.ac.id, widiaribowo@unesa.ac.id, nurvidialaksmi@unesa.ac.id

Abstrak

Sumber kekhawatiran dan kegelisahan para pelanggan terutama ibu rumah tangga adalah kenaikan tarif listrik secara tiba-tiba. Pemeriksaan meteran listrik berkala oleh petugas PLN masih dilakukan secara manual mendatangi rumah ke rumah. Sebagai solusinya, penelitian ini mengembangkan system monitoring daya listrik dengan komunikasi jarak jauh menggunakan komunikasi LoRa dan *Internet of Things*. Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pengujian alat, jangkauan LoRa pada lingkungan perumahan dan pengujian sensor PZEM-004T. Hasil dari prototipe alat system monitoring daya Listrik ini adalah LoRa SX1278 dengan antenna 5dBi pada lingkungan perumahan dapat menjangkau hingga 150 meter dengan kondisi LoS (*Line of Sight*) dan 80 meter dalam kondisi NLoS (*Non Line of Sight*). Pengujian pada sensor PZEM-004T memiliki presentase *error* terkecil sebesar 0,6% pada pengukuran tegangan dan 1,21% pada pengukuran arus dengan 3 buah beban dengan daya total 820W. Sebaliknya, persentase *error* terbesar pada percobaan alat elektronik dengan beban rendah 70W mencapai 2,51% untuk persentase *error* tegangan dan 4,8% persentase *error* arus. Dengan hasil tersebut PZEM 004T cukup baik untuk sistem monitoring daya listrik rumah tangga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat mempermudah pelanggan dalam memantau konsumsi listrik secara *real time* dan dapat mendukung petugas PLN dalam mendata meteran listrik tanpa harus melakukan pencatatan manual.

Kata Kunci: LoRa, *Internet of Things*, Monitoring daya listrik.

Abstract

The growing concern and anxiety among customers, particularly housewives, stems from the recent increase in electricity tariffs. Currently, periodic inspections of electricity meters by PLN officers are done manually, with officers visiting each household. To address this issue, this research develops an electrical power monitoring system that utilizes long-distance communication through LoRa technology and the Internet of Things (IoT). The research employs an experimental method to test various tools, including evaluating the LoRa range in residential environments and testing the PZEM-004T sensor. The prototype of the electrical power monitoring system, identified as LoRa SX1278, features a 5dBi antenna. In residential conditions, this setup can achieve a communication range of up to 150 meters in line-of-sight (LoS) conditions and 80 meters in non-line-of-sight (NLoS) conditions. Testing the PZEM-004T sensor revealed a minimum measurement error of 0.6% for voltage readings and 1.21% for current readings across three loads totaling 820W. Conversely, the highest error percentage observed during a low-load test (70W) reached 2.51% for voltage errors and 4.8% for current errors. These results indicate that the PZEM-004T sensor performs well for household electrical power monitoring systems. Overall, the study demonstrates that this system can help customers monitor their electricity consumption in real time and assist PLN officers in recording electricity meter readings without the need for manual inspections.

Keywords: LoRa, *Internet of Things*, Electrical power monitoring

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telah mendorong masyarakat untuk mengakses layanan dengan cara yang lebih cepat dan praktis, termasuk dalam hal pemantauan

penggunaan energi listrik. Namun, sistem distribusi listrik yang digunakan saat ini umumnya masih bersifat satu arah dan belum mendukung pertukaran data secara *real-time*. Hal ini menjadi kendala bagi konsumen maupun penyedia layanan dalam memperoleh informasi. Pemeriksaan

meteran listrik masih dilakukan secara manual oleh petugas PLN, yang dapat terhambat jika penghuni rumah tidak ada. Akibatnya, perhitungan tagihan listrik sering didasarkan pada rata-rata tiga bulan terakhir (Issetiabudi, 2020).

Ketidakefektifan tersebut dapat menyebabkan kerugian bagi pelanggan karena tidak sesuai dengan data meteran pelanggan dan menjadi suatu halangan bagi petugas karena memakan banyak waktu untuk melakukan pencatatan meteran listrik di rumah pelanggan. Menanggapi masalah tersebut diperlukan suatu alat monitoring sistem distribusi tenaga listrik berbasis LoRa dan IoT sebagai komunikasi dua arah.

Berkaitan dengan masalah yang telah dibahas, Peneliti sebelumnya dari James William dkk (Jokanan., 2022) telah melakukan penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT Menggunakan Firebase Dan Aplikasi Android” mengembangkan sistem pemantauan daya listrik menggunakan sensor PZEM-004T. Sensor ini mendeteksi tegangan dan arus AC, kemudian mengirimkan data melalui *NodeMCU* ke Google Firebase, yang selanjutnya diakses melalui aplikasi Android. Namun, sistem ini masih terbatas pada pemantauan dalam satu rumah saja.

Peneliti sebelumnya dari Ayu Rosyida dkk (Rosyida dkk., 2022) melakukan penelitian berjudul “Analisis Pengiriman Data dari *Gateway* LoRa ke *Network Server*” menyebutkan bahwa LoRa adalah protokol jaringan luas berdaya rendah yang tahan gangguan sinyal, tetapi tidak dapat mengirim data langsung ke *network server* karena menggunakan gelombang radio yang dimodulasi khusus.

Penelitian serupa juga dilakukan Sugihardi dkk telah melakukan penelitian yang berjudul “Sistem Monitoring Pemakaian Listrik Menggunakan LoRa Berbasis Aplikasi” (Dahlan dkk., 2022) mengembangkan sistem monitoring listrik berbasis LoRa, *NodeMCU* ESP8266, PZEM-004T, dan SSR 4 channel. Prototipe ini mampu mengukur daya listrik secara *real-time* dan mengetahui jangkauan LoRa SX1278. LoRa diidentifikasi sebagai solusi komunikasi tanpa internet untuk menghubungkan lokasi ke pusat kendali. Namun, penelitian ini masih terbatas pada satu titik pengujian dan belum menyertakan informasi tarif pemakaian listrik pada *server*.

Peneliti sebelumnya dari Akhmad nawawi dkk (2024), Menyebutkan bahwa LoRa SX1278 memiliki jangkauan lebih luas dan konsumsi daya lebih rendah dibandingkan Wi-Fi, yang hanya mencapai 100 meter dengan penggunaan daya lebih tinggi. Infrastruktur LoRa juga lebih murah, mendukung banyak perangkat per stasiun basis, sementara WiFi memerlukan lebih banyak titik akses dan biaya yang lebih tinggi untuk implementasi skala besar.

Peneliti sebelumnya dari Rosyida dkk (2022) Menurut penelitian tersebut menyebutkan LoRa merupakan protokol jaringan luas berdaya rendah yang dapat dari gangguan sinyal-sinyal yang tidak di inginkan, namun LoRa memiliki keterbatasan yaitu tidak bisa melakukan pengiriman data langsung ke *network server* karena komunikasi yang digunakan LoRa adalah gelombang radio yang dimodulasi secara khusus.

Peneliti sebelumnya dari Jokanan dkk (2022) Penelitian ini menggunakan sensor PZEM-004t sebagai untuk mendeteksi nilai dari tegangan dan arus Listrik ac yang kemudian dikirimkan oleh *nodem* MCU ke google database dan data yang tersimpan akan dibaca oleh aplikasi android. Optimalisasi sistem monitoring daya ini hanya menjangkau satu rumah saja.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Agustine Cahyaningtyas dkk., 2024), ESP32 mendukung Wi-Fi dan Bluetooth, memungkinkan komunikasi yang fleksibel dengan perangkat lain. *Internet of Things* (IoT) adalah konsep yang memungkinkan objek saling bertukar data melalui jaringan tanpa bantuan perangkat komputasi atau manusia, di mana mikrokontroler menjadi komponen utamanya (Zefi dkk., 2023). Salah satu protokol komunikasi yang digunakan dalam IoT adalah *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), yang mendukung komunikasi perangkat dan *cloud* dengan konsep *publisher*, *subscriber*, *broker*, dan *topic* (Mursidan dkk., 2020).

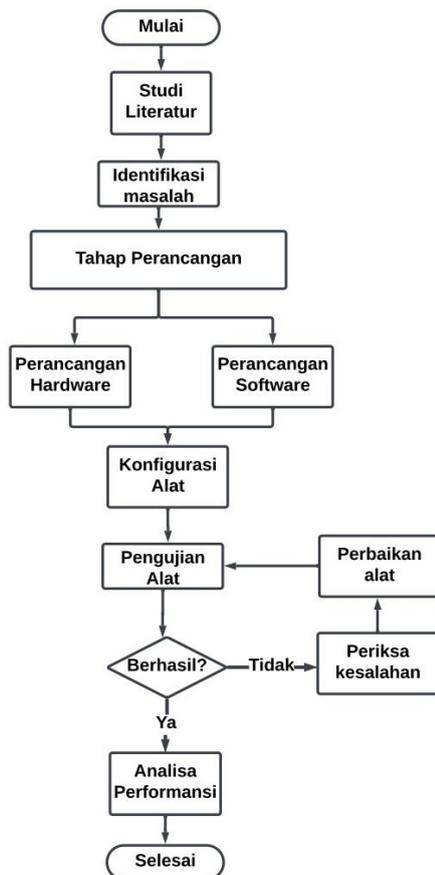
Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring daya listrik berbasis LoRa SX1278 dan *Internet of Things* (IoT) untuk diterapkan di lingkungan perumahan untuk menjawab keterbatasan sistem sebelumnya. Tujuannya adalah agar data konsumsi listrik dari beberapa rumah dapat dipantau secara terpusat, tanpa perlu kunjungan langsung oleh petugas. Sistem ini juga memberikan akses informasi kepada pelanggan secara langsung. Berbeda dari penelitian sebelumnya yang hanya mencakup pemantauan satu titik atau pemantauan secara individu di satu titik. Dalam sistem ini, *transmitter* mengirim data dari sensor listrik ke *receiver* menggunakan sinyal radio. Lalu *receiver* meneruskan data tersebut ke *server* agar bisa ditampilkan dan dianalisis. Agar memastikan data dapat diterima dengan benar, sistem membaca secara berkala, dan menyimpan semua informasi di *server cloud*. Penggabungan antara LoRa dengan IoT pada penelitian ini dilakukan karena keduanya memiliki keunggulan yang saling melengkapi. LoRa mampu mengirimkan data dalam jarak jauh tanpa memerlukan internet langsung, sehingga sangat sesuai untuk lingkungan perumahan dimana setiap rumah belum tentu memiliki internet. Sementara IoT mendukung proses dalam pengolahan dan penyajian data secara *real time* melalui *server* berbasis *cloud*. Dengan adanya penelitian ini diharapkan mampu meningkatkan

Sistem Monitoring Daya Listrik Untuk Konsumen di Lingkungan Perumahan Menggunakan LoRa SX1278 dan *Internet of Things* Berbasis Node Red.

ketepatan pencatatan serta mengurangi kesalahan dalam pendataan penggunaan listrik..

METODE

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu metode yang dilakukan dengan cara mengamati dan menguji sistemnya secara langsung untuk memperoleh data. Dengan tujuan metode ini adalah untuk mengetahui kinerja sistem monitoring daya listrik berbasis LoRa dan IoT dengan sensor PZEM-004T di lingkungan area perumahan. Pada dasarnya bagian ini menjelaskan bagaimana penelitian itu dilakukan.

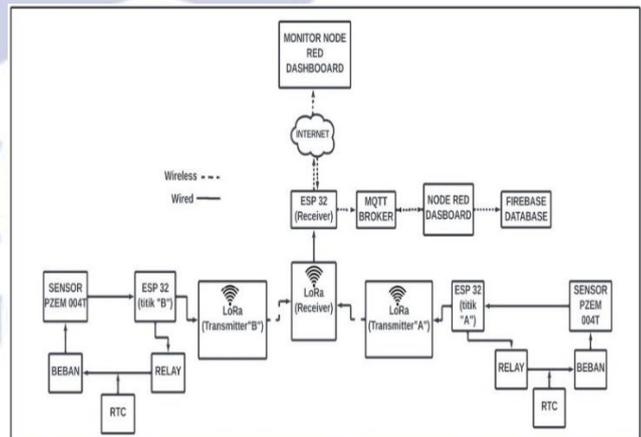


Gambar 1 Flowchart Penelitian

Berikut adalah penjelasan untuk setiap tahapan flowchart penelitian yang tertera pada gambar 1 flow chart penelitian:

1. Memulai penelitian dengan mengumpulkan dan mempelajari berbagai referensi ilmiah dari studi literatur yang relevan dengan tujuan untuk memahami konsep dasar, serta metode yang digunakan dalam penelitian yang terkait.
2. Identifikasi masalah di lakukan setelah studi literatur yang bertujuan untuk menemukan permasalahan yang belum terselesaikan dari penelitian sebelumnya.

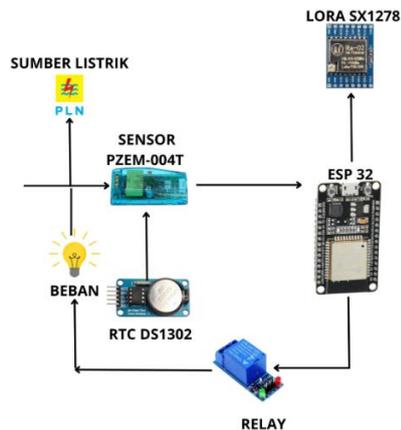
3. Tahapan perancangan ini mencakup spesifikasi teknis dan desain awal dari perancangan *hardware* dan *software*. Mulai dari pemilihan mikrokontroller, sensor daya dan modul komunikasi yang digunakan. Lalu dilanjutkan spesifikasi *software* membuat struktur database, pembuatan logika program serta antarmuka pengguna.
4. Pada tahap konfigurasi alat, perangkat *hardware* dan perangkat *software* yang telah dirancang dikonfigurasi agar dapat berfungsi sesuai dengan kebutuhan penelitian. Proses ini merupakan proses instalasi (menyusun komponen secara fisik yang disambungkan rangkaian elektronik), konfigurasi perangkat lunak dengan mengunggah program ke mikrokontroller, mengatur API key firebase serta menyinkronkan komunikasi LoRa dengan ESP 32.
5. Pengujian alat dilakukan untuk memastikan alat bekerja dengan baik berdasarkan parameter fungsi utama: apakah sensor membaca data arus, tegangan dan daya secara akurat, proses pengiriman data apakah data terkirim ke firebase tanpa *error*, pengujian RSSI (*received signal strength indicator*) dan keberhasilan sinkronasi antar *node*.
6. Analisa performa merupakan tahapan akhir menganalisis data hasil pengujian untuk menilai performansi alat.



Gambar 2 Blok Sistem Monitoring

Sistem monitoring daya listrik untuk konsumen perumahan dirancang dengan menggabungkan LoRa dan IoT guna menampilkan tarif pemakaian listrik secara *real-time* melalui *server*. Karena LoRa tidak dapat mengirim data langsung ke *server*, maka digunakan esp 32 sebagai mikrokontroller untuk menerima dan meneruskan data ke *server*. Dengan metode ini, setiap rumah dapat mengirimkan data pemantauan listrik ke pusat penerima.

Gambar 2 merupakan blok sistem monitoring daya Listrik, sistem ini terdiri dari *transmitter*, *receiver* (*gateway*), *server*, dan *smartphone*. *Transmitter* mencakup sensor *node* berbasis esp 32 dan modul LoRa komunikasi. Di sisi *gateway*, esp 32 menerima data dari sensor *node*, kemudian mengirimkannya ke *server* melalui protokol MQTT menggunakan Node-Red. Data tersebut ditampilkan dalam dashboard Node-red sebagai GUI serta disimpan di firebase. Selanjutnya, Node-Red di *hosting* agar pengguna dapat mengakses informasi dengan mudah.



Gambar 3 Komponen Sistem Monitoring

Gambar 3 merupakan komponen yang digunakan dalam sistem monitoring setiap rumah. ESP32 merupakan mikrokontroler yang digunakan sebagai penerima data yang memiliki fitur protocol WiFi. Dengan prosesor dual-core 32-bit Xtensa LX6, ESP32 memiliki kemampuan untuk melakukan pemantauan secara *real-time* dengan cepat dan efisien. (Muqorrobinn dkk., 2024). LoRa berfungsi sebagai mengirim data dari ESP 32 karena LoRa dapat mengirimkan data tanpa bantuan WIFI. (Suhermanto & Aribowo, 2023) Sensor yang digunakan adalah PZEM-004T yang dapat membaca tegangan dan arus pada beban yang terpasang. Sensor PZEM-004T terdapat fitur pengukuran (tegangan, arus, daya nyata) dan reset perhitungan daya melalui perangkat lunak. Modul ini juga dapat diprogram menggunakan berbagai jenis mikrokontroler seperti Arduino, ESP 32 atau Raspberry Pi karena menggunakan komunikasi serial TTL (Kurniawan dkk., 2022).

Relay adalah komponen electromechanical yang terdiri dari dua bagian utama, yaitu coil dan saklar (*switch*), dioperasikan secara Listrik. Fungsi utama dari relay adalah untuk melindungi komponen terhadap kelebihan tegangan atau *short circuit*. Selain itu, relay dapat memudahkan rangkaian otomatis sebagai penghubung atau pemutus tegangan AC dan DC (Syafuruddin dkk., 2021). Relay pada penelitian ini berfungsi sebagai proteksi komponen yang terdapat pada sistem monitoring daya Listrik dari sumber

tegangan AC. RTC berfungsi menyimpan informasi waktu secara *real time* dengan akurat. RTC dinilai cukup akurat sebagai *timer* karena menggunakan osilator kristal (Silalahi dkk., 2023).



Gambar 4 Komponen Blok Receiver

Gambar 4 adalah blok *receiver* (penerima) yang berisikan ESP 32 dan LoRa tertera pada gambar blok sistem monitoring berfungsi sebagai menerima data dan mengirim data ke *server*. Jadi data dari sistem monitoring titik rumah A dan B akan di terima LoRa *Receiver*, lalu dikirimkan ke esp 32 *receiver*. kemudian kemudian *gateway* akan mengirim data menggunakan protocol MQTT ke node red dan data tersebut akan di tampilkan Node red dashboard sebagai GUI dan firebase sebagai tempat penyimpanan database. Setelah itu, node red akan di *hosting* agar pengguna dapat mengakses.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menguji kinerja sistem monitoring daya listrik untuk konsumen di lingkungan perumahan dengan menggunakan metode penggabungan LoRa dan *Internet of Things* (IoT). Penggabungan LoRa dan IoT dalam penelitian ini dilakukan karena kedua komponen tersebut saling melengkapi. LoRa dapat mengirimkan data dengan jarak jauh tanpa internet langsung, sedangkan IoT dalam penelitian ini berperan untuk mengelola dan menampilkan data secara *real time*. Sehingga LoRa dalam penelitian ini berfungsi sebagai media komunikasi utama antar perangkat, sedangkan IoT berperan sebagai manajemen data secara terpusat.

Pengujian ini mencakup tiga aspek utama, yaitu pengujian alat, pengujian jangkauan LoRa, dan pengujian sensor PZEM-004T. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi apakah sistem yang dikembangkan, dengan ESP32 sebagai mikrokontroler dan sensor PZEM-004T sebagai alat ukur, dapat berfungsi dengan baik serta memberikan informasi tarif pemakaian dan konsumsi energi listrik secara *real-time* sesuai dengan yang diharapkan.

Sistem Monitoring Daya Listrik Untuk Konsumen di Lingkungan Perumahan Menggunakan LoRa SX1278 dan *Internet of Things* Berbasis Node Red.

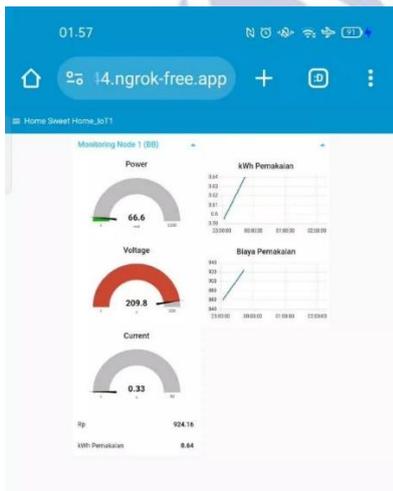
Pengujian Alat

Gambar 5 merupakan keberhasilan LoRa receiver dalam menerima data dari 2 *node* pengirim yakni *node* BB dan *node* CC. 187 merupakan kode id untuk *node* BB dan 204 sebagai kode id untuk *node* pengirim CC. Gambar diatas menunjukkan bahwa LoRa *Receiver* berhasil menerima data dari kedua *node* pengirim, data yang diterima berupa tegangan, arus, daya, energi dan biaya pemakaian setiap titik *node* yang terpasang.

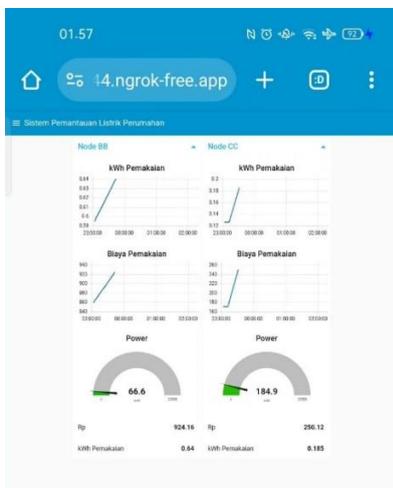
```

15:56:43.693 -> RSSI: -36
15:57:00.790 -> Received: 187,V:214.50,I:0.03,P:0.40,W:0.55,C:799.98
15:57:00.790 -> RSSI: -52
15:57:17.247 -> Received: 187,V:214.90,I:0.03,P:0.40,W:0.55,C:799.98
15:57:17.247 -> RSSI: -52
15:57:29.856 -> Received: 204,V:214.90,I:0.03,P:0.80,W:0.12,C:167.65
15:57:29.856 -> RSSI: -36
15:57:41.917 -> Received: 187,V:214.80,I:0.03,P:0.00,W:0.55,C:799.98
15:57:41.917 -> RSSI: -52
15:57:57.541 -> Received: 204,V:214.90,I:0.03,P:0.70,W:0.12,C:167.65
15:57:57.541 -> RSSI: -35
15:58:14.841 -> Received: 187,V:215.00,I:0.03,P:0.00,W:0.55,C:799.98
15:58:14.841 -> RSSI: -52
15:58:31.334 -> Received: 187,V:214.20,I:0.03,P:0.40,W:0.55,C:799.98
15:58:31.334 -> RSSI: -51
15:58:43.690 -> Received: 204,V:213.70,I:0.03,P:0.80,W:0.12,C:167.65
15:58:43.690 -> RSSI: -35
15:58:55.987 -> Received: 187,V:213.50,I:0.03,P:0.40,W:0.55,C:799.98
15:58:55.987 -> RSSI: -49
    
```

Gambar 5 Keberhasilan LoRa receiver dalam menerima data dari 2 *node* pengirim



Gambar 6 Dashboard sisi pelanggan



Gambar 7 Dashboard sisi admin

Pengujian Jangkauan LoRa Kondisi LoS (*Line of sight*)

Pengujian pengiriman data LoS dilakukan dengan menggunakan LoRa dengan menyiapkan dua modul LoRa, satu sebagai pemancar pengirim dan satu lagi sebagai penerima dengan kondisi situasi tanpa halangan yang dimana tidak adanya hambatan bangunan, dan benda lainnya yang dapat menghalangi. Percobaan dilakukan dengan mengumpulkan data setiap 10 meter hingga LoRa tidak lagi menerima data (terputus).

Tabel 1. Data Pengujian LoRa kondisi LoS

JARAK	RATA-RATA RSSI	PACKET LOSS
10 meter	-63,2 dBm	0%
20 meter	-77,7 dBm	0%
30 meter	-75,9 dBm	0%
40 meter	-81,3 dBm	0%
50 meter	-93 dBm	0%
60 meter	-94,3 dBm	0%
70 meter	-99,6 dBm	0%
80 meter	-100,2 dBm	0%
90 meter	-101,3 dBm	10%
100 meter	-100,5 dBm	0%
110 meter	-100,6 dBm	0%
120 meter	-103 dBm	0%
130 meter	-104 dBm	0%
140 meter	-105,5 dBm	0%
150 meter	-103,2 dBm	0%

Setiap data pada tabel diperoleh dari hasil perhitungan dari rata-rata yang di ambil setiap 10 meter, berikut adalah contoh perhitungannya:

$$\bar{x} = \frac{(-65)+(-62)+(-64)+(-64)+(-64)+(-63)+(-63)+(-63)+(-63)+(-62)+(-63)}{10} = -63,2 \text{ dBm} \dots\dots\dots(1)$$

Dari hasil pengujian LoRa dalam kondisi LoS, diperoleh bahwa semakin jauh jarak antara perangkat pengirim dan penerima, nilai RSSI semakin negatif, menandakan melemahnya sinyal. Namun, komunikasi LoRa tetap berjalan dengan baik, dengan data yang masih dapat diterima hingga jarak 150 meter dengan rata-rata RSSI sebesar -103,2 dBm. Pada percobaan LoS *packet loss* terjadi hanya pada percobaan jarak 90 meter hal ini pertanda bahwa sinyal mulai melemah. Pada percobaan jarak 100 hingga 150 meter tidak menunjukkan adanya *packet loss*, diperkirakan pantulan sinyal pada kondisi lingkungan yang membuat kualitas sinyal terjaga. Namun, pada jarak 150 meter sinyal sudah lemah sehingga komunikasi terputus pada percobaan 160 meter. *Packet loss* pada jarak 90 meter sudah menjadi pertanda awal bahwa sinyal tidak lagi stabil.

Pengujian Jangkauan LoRa Kondisi NLoS (*Non Line of sight*)

Pengujian pengiriman data NLoS dilakukan dengan kondisi mengumpulkan dimana jalur antara *node* pengirim dan *node* penerima terhalang oleh objek fisik, pengujian dilakukan dengan menyiapkan dua modul LoRa, satu sebagai pemancar pengirim dan satu lagi sebagai penerima. Percobaan dilakukan dengan data setiap 5 meter hingga LoRa tidak lagi menerima data (terputus). Pada proses pengambilan data, jarak diukur menggunakan bantuan alat meteran digital, lalu pemancar pengirim di letakkan di teras rumah, dan perangkat lunak digunakan untuk memantau dan merekam data yang diterima.

Tabel 2. Data Pengujian LoRa kondisi NLoS

JARAK	RATA-RATA RSSI	PACKET LOSS
5 meter	-55,6 dBm	0%
10 meter	-62,8 dBm	0%
15 meter	-70,9 dBm	0%
20 meter	-76,6 dBm	0%
25 meter	-75,7 dBm	0%
30 meter	-75,4 dBm	0%
35 meter	-78,2 dBm	0%
40 meter	-78 dBm	20%
45 meter	-84,3 dBm	0%
50 meter	-89 dBm	0%
55 meter	-89,8 dBm	0%
60 meter	-93,6 dBm	0%
65 meter	-95 dBm	0%
70 meter	-93,6 dBm	10%
75 meter	-95 dBm	30%
80 meter	-96,2 dBm	50%

Setiap data pada tabel diperoleh dari hasil perhitungan dari rata-rata yang di ambil setiap 10 meter, berikut adalah contoh perhitungannya:

$$\bar{x} = \frac{(-55)+(-53)+(-50)+(-59)+(-53)+(-68)+(-54)+(-54)+(-54)+(-55)+(-55)}{10}$$

= - 55,6 dBm.....(2)

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kekuatan sinyal semakin menurun dengan seingnya bertambah jarak. Pada percobaan dengan jarak 5-35 meter, sinyal yang didapat masih dalam keadaan stabil dan masih cukup kuat dengan kualitas yang baik yang ditandai dengan tidak adanya paket loss sehingga komunikasi masih berjalan dengan lancar. Pada jarak 40 meter terjadinya *packet loss* sebesar 20% dengan nilai RSSI sebesar -76,125 dBm. Hal tersebut menunjukkan bahwa sinyal masih dapat diterima, namun dengan kualitas menurun karena terdapat gangguan pada komunikasi.

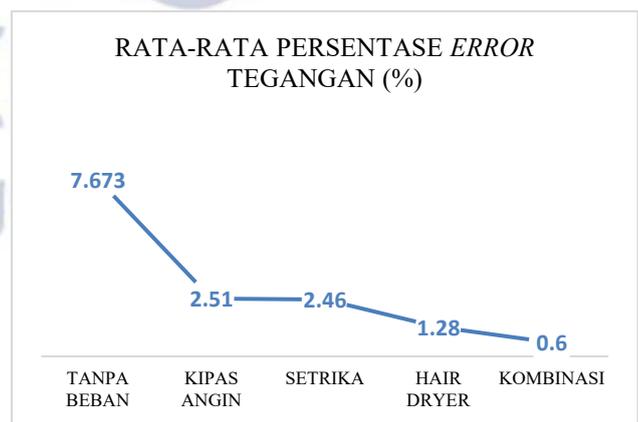
Pada kondisi jarak 45-60 meter RSSI yang didapatkan semakin negatif, tetapi tidak ada *packet loss* yang terdeteksi. Hal ini menunjukkan meskipun sinyal

dalam keadaan mulai melemah, namun lora masih dapat menerima data dengan baik. Pada percobaan dengan jarak 65-80 meter nilai RSSI semakin negatif. Pada jarak 70 meter mulai terjadi *packet loss* sebesar 10%, yang menunjukkan bahwa kualitas sinyal mulai menurun. Lalu *packet loss* meningkat menjadi 30% pada jarak 75 meter, dan mencapai 50% pada jarak 80 meter yang menunjukkan kualitas sinyal sudah sangat buruk. Sinyal terputus pada saat pengujian dengan jarak 85 meter. Didapatkan Kesimpulan bahwa kualitas sinyal pada percobaan LoRa dalam kondisi NLoS semakin menurun dengan bertambahnya jarak dan *packet loss* meningkat secara drastis pada jarak yang lebih jauh. Hal tersebut menunjukkan bahwa kualitas sinyal dipengaruhi oleh jarak, hambatan dan lingkungan.

Penelitian sebelumnya menjadi dasar dalam penggunaan SF 7, daya 20 dBm dan frekuensi 250 kHz pada pengujian ini. Studi yang dilakukan (Ramadhani dkk., 2021) menunjukkan bahwa kombinasi parameter tersebut merupakan konfigurasi yang efektif untuk transmisi LoRa. Selain itu, penelitian (Hermansyah dkk., 2023), mengungkap bahwa jangkauan LoRa dapat meningkat dengan optimasi antena dan kondisi lingkungan.

Pengujian sensor PZEM-004T

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi sensor PZEM-004T dalam mengukur arus dan tegangan. Sebanyak 10 sampel data dikumpulkan langsung dari jaringan PLN, lalu hasil pembacaannya dibandingkan dengan multimeter pada berbagai variasi beban. Perbandingan ini dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat kesalahan sensor dalam sistem monitoring.



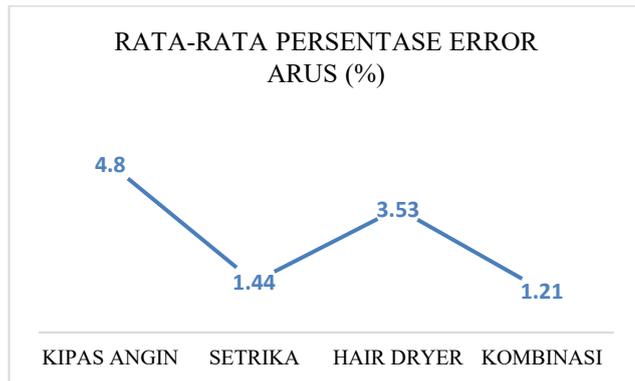
Gambar 8 Presentase error Tegangan

Berdasarkan dari data grafik di atas dalam pengukuran tegangan, *error* terbesar terjadi pada saat pengukuran dengan beban paling kecil yakni kipas angin dengan presentase *error* sebesar 2,51%. Namun, pada saat beban listrik yang cukup besar persentase *error* yang di

hasilkan lebih kecil yakni pada saat percobaan 3 beban (setrika+*hair dryer*+kipas angin) sebesar 0,60%. Maka dapat disimpulkan bahwa sensor akan bekerja lebih akurat ketika beban yang di uji besar, sebaliknya jika beban kecil maka keakuratan sensor berkurang.

Persentase *error* tersebut merupakan perhitungan dari rumus:

$$\text{Persentase Error: } \frac{(V \text{ out sensor}) - (V \text{ out alat ukur})}{(V \text{ out alat ukur})} \times 100 \dots\dots (3)$$



Gambar 9 Presentase *error* Arus

Hasil grafik menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T beroperasi dengan baik, meskipun masih terdapat kesalahan pembacaan, terutama pada beban kecil. Misalnya, kipas angin memiliki *error* sebesar 4,8%, sedangkan kesalahan terendah terjadi saat 3 beban digunakan bersamaan, yaitu 1,21%. Persentase *error* pada tabel pengukuran arus merupakan perhitungan dari rumus:

$$\text{Persentase Error: } \frac{(I \text{ out sensor}) - (I \text{ out alat ukur})}{(I \text{ out alat ukur})} \times 100 \dots\dots (4)$$

KESIMPULAN

1. **Pengujian jangkauan LoRa** : Pengujian LoRa dengan parameter SF 7, daya 20, dan frekuensi 250 kHz menggunakan antena 5 dBi LoRa SX1278 di lingkungan perumahan menunjukkan jangkauan hingga 150 meter dengan rata-rata RSSI -103,2 dBm dalam kondisi *Line of Sight* (LoS). Sebaliknya, dalam kondisi *Non-Line of Sight* (NLoS), jangkauan hanya mencapai 80 meter dengan rata-rata RSSI -96,2 dBm. Pada pengujian NLoS, nilai RSSI lebih baik dibandingkan dengan LoS pada jarak yang sama karena sinyal dapat memantul dari hambatan fisik, yang sementara meningkatkan kekuatan sinyal. Dalam kondisi LoS, sinyal cenderung langsung diterima tanpa banyak pantulan. Dari segi *Packet loss*, pada pengujian NLoS, kehilangan paket lebih sering ditemukan dan meningkat seiring bertambahnya jarak. Meskipun nilai RSSI pada

pengujian NLoS lebih tinggi, kualitas komunikasi lebih buruk karena jumlah *packet loss* yang diterima juga meningkat seiring bertambahnya jarak.

2. **Pengujian sensor PZEM:** Pengujian pada sensor PZEM-004T menunjukkan bahwa persentase kesalahan terkecil pada pengukuran tegangan mencapai 0,6%, sedangkan untuk pengukuran arus mencapai 1,21%. Pengujian ini dilakukan dengan tiga beban yang memiliki daya total 820 Watt. Sebaliknya, persentase kesalahan terbesar pada pengukuran dengan beban rendah 70 Watt mencapai 2,51% untuk tegangan dan 4,8% untuk arus. Sensor PZEM-004T bekerja lebih akurat saat mengukur beban besar karena perubahan tegangan dan arus lebih jelas terlihat. Sebaliknya, pada beban kecil, kesalahan pengukuran cenderung lebih tinggi karena perubahan tegangan dan arus yang lebih halus sehingga lebih sulit untuk dideteksi.
3. Penelitian ini berhasil merancang sistem monitoring daya listrik dengan menggabungkan teknologi LoRa dan IoT (*Internet of Things*). Sistem mampu mengirimkan data secara jarak jauh menggunakan LoRa dan menampilkannya secara *real time*. Hasil pengujian bahwa sistem berfungsi dengan baik dalam mengukur dan mengirimkan data tanpa harus melakukan pencatatan manual, sehingga dapat meningkatkan efisiensi pemantauan dan pengelolaan penggunaan listrik, serta efektif digunakan di lingkungan perumahan.

SARAN

Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar melakukan penelitian dengan teknologi komunikasi jarak jauh terbaru seperti system monitoring yang mengintegrasikan IoT dengan AI atau komunikasi jarak jauh yang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustine Cahyaningtyas, I., Stefanie, A., & Ibrahim, I. (2024). Implementasi Esp32 Cam Dan Kodular Berbasis Android Untuk Monitoring Smart Garden. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 7(4), 2512–2518. <https://doi.org/10.36040/jati.v7i4.7121>
- Dahlan, M. (2022). Sistem Monitoring Pemakaian Listrik Menggunakan Lora Berbasis Aplikasi. *Jurnal ELKON*, 02(01), 2809–140.
- Hermansyah, M., Ali, M., Wicaksono, A., & Muhammad, U. (2023). *SISTEM ON / OFF BEBAN AC DAN MONITORING ARUS JARAK JAUH MENGGUNAKAN LORA RA-02 SX1278*. 4(2), 66–71.
- Issetiabudi, D. E. (2020). *Pencatat Meter PLN Tak Bisa*

- Masuk Rumah, Hati-Hati Lonjakan Tagihan Tak Terbaca.*
<https://ekonomi.bisnis.com/read/20200621/44/1255617/pencatat-meter-pln-tak-bisa-masuk-rumah-hati-hati-lonjakan-tagihan-tak-terbaca>
- Jokanan, J. W., Widodo, A., Kholis, N., & Rakhmawati, L. (2022). Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT Menggunakan Firebase dan Aplikasi. *Jurnal Teknik Elektro*, 11(1), 47–55. <https://doi.org/10.26740/jte.v11n1.p47-55>
- Kurniawan, E., Pangaudi, D. S., & Widjatmoko, E. N. (2022). Perancangan Sistem Monitoring Konsumsi Daya Listrik Berbasis Android. *Cyclotron*, 5(1), 63–68. <https://doi.org/10.30651/cl.v5i1.8772>
- Muqorrobin, Z. P., Nawawi, A., Ardani, A. A., & Setia, S. P. (2024). *Off-Grid Solar System Monitoring based on ESP-32 and INA219 In Pesanggrahan Gordomulyo.* 1(2), 22–32. <https://doi.org/10.26740/vubeta.v1i2.34859>
- Mursidan, A., Farizi, A., Listrik, D. T., Vokasi, F., & Surabaya, U. N. (2020). Monitoring *Energi Listrik Generator Tenaga Surya Portabel Berbasis IoT Untuk Kebutuhan Listrik di Daerah Bencana Mahendra Widyartono, Aditya Chandra H, dan Widi Ariwibowo Abstrak.* 92–97.
- Nawawi, A., Wardani, A. L., Hermawan, A. C., & Sx, L. (2024). *Perfomance of LoRa SX1278 Using Yagi Antenna.* 1(1), 46–58.
- Ramadhani, A., Alaudin, Z., Jihad Aridha, F., Rusdinar, A., & Zamhuri Fuadi, A. (2021). Data Komunikasi Secara *Real time* Menggunakan Lora Berbasis *Internet of Things* Untuk Pembuatan Weather Station *Real time* Communication Data Using Lora Based *Internet of Things* for Weather Station. *Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan* , 8(1), 1007–1009. <https://doi.org/10.25124/jett.v8i1.4130>
- Rosyida Zain, A., Hudi, S. A. R., & Neforawati, I. (2022). Analisis Pengiriman Data dari LoRa *Gateway* ke Network *Server.* *Multinetics*, 7(1), 21–29. <https://doi.org/10.32722/multinetics.v7i1.3971>
- Silalahi, M. R., Virgono, A., & Saputra, R. E. (2023). Alat Pengolahan Informasi MP3 Sistem Pengumuman RT/RW Berbasis Arduino. *E-Proceeding of Engineering*, 10(1), 183–189. <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/19313>
- Suhermanto, D. A. N. K., & Aribowo, W. (2023). Rancang Bangun Kendali Adaptif Motor DC Berdasar Suhu Menggunakan Wemos D1 R1 Dan LoRa. *Jurnal Teknik Elektro*, 12(2), 74–83. <https://doi.org/10.26740/jte.v12n2.p74-83>
- Syafruddin, Devira ramady, G., & Ristiadi Hudaya, R. (2021). Rancang Bangun Sistem Proteksi Daya Listrik Menggunakan Sensor Arus dan Tegangan Berbasis Arduino. *Isu Teknologi Stt Mandala*, 16(1), 36–43.
- Zefi, S., Halimatussa`diyah, R. ., Duri, R., & Rianti, R. (2023). Rancang Bangun Alat Pemotong Tahu Berbasis *Internet of Things* (IOT). *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(3), 21663–21669. <https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/9750/7920>