

Sistem *Monitoring* dan Kontrol Listrik Pelanggan Rumah Tangga Berbasis *LoRa*

Muhammad Ulul Albab^{1)*}, Asrul²⁾, Abd. Jabbar³⁾, Ashadi Amir⁴⁾

¹ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Parepare
muhululalbabrnc2@gmail.com

² Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Parepare
asrul@umpar.ac.id,

³ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Parepare
abdjabbar@umpar.ac.id

⁴ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Parepare
ashadiamir@umpar.ac.id

Abstrak

Perusahaan Umum Listrik Negara yaitu PT. PLN (Persero) sebagai pemegang kuasa usaha ketanagalistrikan di Indonesia bertugas menyediakan tenaga listrik bagi kepentingan umum memiliki dua kategori pelanggan listrik yaitu prabayar dan pascabayar. Pada pelanggan pascabayar, pelanggan melakukan pembayaran tagihan sesuai dengan energi yang digunakan selama satu bulan. Proses pencatatan penggunaan energi listrik masih dilakukan dengan cara konvensional yang dicatat secara manual oleh petugas PLN, sehingga sering terjadi kesalahan pencatatan penggunaan energi listrik pelanggan pascabayar dan kesalahan tersebut bisa mempengaruhi kinerja PLN khususnya disisi tunggakan listrik. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan sebuah sistem pencatatan elektronik otomatis untuk kemudahan dan akurasi pencatatan penggunaan energi listrik pelanggan dan mengontrol listrik pelanggan dari jarak jauh. Sistem ini dibangun menggunakan Mikrokontroler ESP32 yang dikombinasikan dengan *LGT8F328P*, dan sebagai media komunikasi nirkabel menggunakan modul *LoRa*. Metode penelitian menggunakan *research and development*, sehingga dapat menghasilkan sebuah prototipe. Pengujian yang dilakukan meliputi pengukuran tegangan AC, arus AC, pengujian komunikasi jarak jauh, dan pengujian keseluruhan sistem. Hasil pengujian didapatkan rata-rata akurasi pengukuran tegangan 99,74%, arus 95,25%, jarak kemampuan komunikasi *non line of sight* antar node sejauh 435 m dengan rata-rata waktu pengiriman 11,65 detik, sedangkan pada lokasi *line of sight* sejauh 2130 m dengan rata-rata waktu pengiriman 8,42 detik, tingkat akurasi pengukuran pemakaian kWh sebesar 63,81%, dan hasil dari pengujian keseluruhan sistem dapat memonitoring maupun mengontrol dengan baik.

Keywords: Mikrokontroler esp32, Mikrokontroler *LGT8F328P*, Listrik, Modul *LoRa*, Tegangan, Arus

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu kebutuhan hidup manusia. PT PLN (Persero) merupakan perusahaan BUMN yang memberikan layanan listrik di Indonesia. PLN sendiri memiliki dua kategori pelanggan listrik yaitu, prabayar dan pascabayar. Pada pelanggan pascabayar pelanggan melakukan pembayaran tagihan sesuai dengan energi yang digunakan selama kurun waktu 1 bulan [1]. Namun dalam kenyataannya di lapangan menurut ketua pengurus harian YLKI (Yayasan Lembaga Konsumen Indonesia) Tulus Abadi menyebutkan sering terjadi kesalahan pencatatan meteran listrik pelanggan pascabayar oleh petugas PLN.

Sumber pendapatan utama PT PLN (Persero) berasal dari penjualan energi listrik yang dibayar oleh pelanggan setiap bulannya untuk pelanggan meter Pascabayar dan pembelian Token listrik bagi pelanggan meter Prabayar. Khususnya pada PT PLN (Persero) UP3 Parepare, Pengukuran kWh jual kepada pelanggan yaitu kurang lebih 70% masih menggunakan meter Pascabayar, Oleh karena itu lancar atau tidaknya pelanggan membayar rekening listrik akan berpengaruh terhadap *Cashflow* Perusahaan [1]. Dengan lancarnya pembayaran rekening listrik oleh

pelanggan akan mempengaruhi kegiatan operasional PLN menjadi lancar.

Penggunaan listrik meter pascabayar adalah pelanggan menggunakan energi listrik terlebih dahulu, baru kemudian melakukan pembayaran tagihan di bulan berikutnya. Proses rekening listrik pada pelanggan meter pascabayar lumayan panjang, yakni dari pencatatan, perhitungan rekening, verifikasi stand meter, dan penerbitan rekening tagihan listrik yang akan di berikan serta wajib dibayar oleh pelanggan PLN [1].

Namun pelayanan seperti ini ternyata menimbulkan permasalahan yaitu adanya tunggakan piutang listrik oleh pelanggan bahkan adanya kesalahan pencatatan dikarenakan stand pada KWH Meter tidak dapat di ambil langsung di rumah pelanggan sehingga mengakibatkan adanya lebih tagih kepada pelanggan PLN.

Dikarenakan pencatatan stand KWH meter dengan tunggakan piutang listrik berjalan selaras, permasalahan tersebut menjadi diskusi *Collecting Of Period* (COP) dan menjadi awal munculnya ide Sistem *Monitoring* dan Kontrol Listrik Pelanggan Rumah Tangga Berbasis *LoRa* dengan *Aplikasi Web*.

Sistem *monitoring* dan kontrol ini, akan mengirimkan data pemakaian listrik pelanggan rumah tangga serta menerima perintah untuk memutuskan aliran listrik

pelanggan rumah tangga apabila telat bayar listrik atau bisa di sebut menunggak, sistem diatas menggunakan protocol komunikasi *LoRa*. Kemudian akan ditampilkan melalui *Aplikasi Web* untuk mempermudah petugas PLN memantau pemakaian listrik pelanggan rumah tangga secara real time agar meminimalisir kesalahan pencatatan serta mempermudah petugas PLN untuk memutus atau menyambungkan aliran listrik pelanggan rumah tangga dengan jarak jauh tanpa harus datang ke rumah pelanggan.

II. KAJIAN LITERATUR

A. Listrik

Listrik adalah bentuk energi yang berhubungan dengan arus listrik atau aliran electron. Arus listrik terdiri dari partikel bermuatan negatif yang disebut elektron yang mengalir melalui penghantar listrik. Ini menghasilkan potensi listrik atau beda potensial antara dua titik yang dapat digunakan untuk melakukan kerja atau memberikan daya pada perangkat elektronik. Satuan dasar untuk mengukur listrik adalah *ampere* (A) untuk mengukur arus listrik, *volt* (V) untuk mengukur tegangan atau beda potensial, dan *watt* (W) [1].

Besaran – besaran dasar dalam konteks listrik adalah arus (I) dengan satuan *Ampere*, tegangan (V) dengan satuan *Volt* dan hambatan (R) dengan satuan *ohm*. Berikut ini adalah rumus dari Tegangan, Arus, dan Hambatan atau biasa disebut dengan istilah rumus segetiga daya [2].

$$\textcircled{V} = I \times R \quad \textcircled{I} = \frac{V}{R} \quad \textcircled{R} = \frac{V}{I} \quad (1)$$

Daya listrik adalah kemampuan suatu peralatan listrik untuk melakukan usaha akibat adanya perubahan kerja dan perubahan muatan listrik tiap satuan waktu. Besarnya daya listrik yang dilakukan oleh peralatan listrik dipengaruhi oleh keberadaan tegangan listrik, kuat arus listrik, dan hambatan listrik didalam rangkaian listrik tertutup, serta keadaannya terhadap waktu. Ketiga besaran listrik tersebut menjadi penentu dari besarnya daya listrik yang diperlukan oleh peralatan listrik untuk bekerja secara optimal. Secara matematis, daya listrik dirumuskan sebagai berikut [2].

$$P = V \times I \times \text{Cos } \varphi \quad (2)$$

Dimana:

- P = Daya
- V = Tegangan
- I = Arus
- Cos φ = Power Faktor

B. kWh Meter

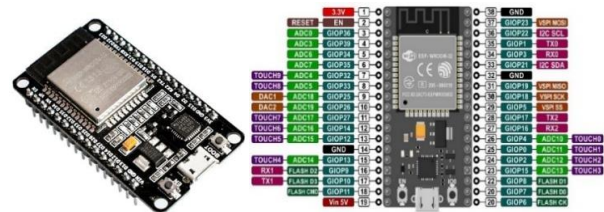
Penyaluran energi listrik dibutuhkan suatu alat pembatas dan pengukur (APP) dengan alat ini dapat ditentukan daya pemakaian dan waktu pemakaian sehingga konsumen dapat mengetahui berapa biaya pemakaian energi listrik tiap bulannya. Alat pembatas dan pengukur (APP) sering dikenal dengan kWh meter [1].

Kwh meter atau kilowatt hour meter, adalah alat pengukuran energi listrik yang digunakan untuk mengukur konsumsi energi listrik dalam kilowatt hour

(kWh). Satuan kWh, digunakan untuk mengukur perangkat atau sistem listrik dalam waktu tertentu.

C. Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah Mikrokontroler *System on Chip* (SoC) berbiaya rendah dari *Espressif Systems*, yang juga sebagai pengembang dari SoC ESP8266 yang terkenal dengan NodeMCU. ESP32 adalah penerus SoC ESP8266 dengan menggunakan Mikroprosesor Xtensa LX6 32-bit Tensilica dengan Wi-Fi dan Bluetooth yang terintegrasi [3].



Gambar 11. Mikrokontroler ESP32 [3]

D. Sensor PZEM004T

Sensor PZEM-004T adalah sebuah sensor yang digunakan untuk mengukur dan memantau parameter-parameter listrik pada sistem kelistrikan. Sensor ini sering digunakan dalam proyek-proyek yang melibatkan monitoring dan pengukuran energi listrik [4].



Gambar 12. Sensor PZEM-004T

E. Modul Relay

Modul *relay* adalah salah satu piranti yang beroperasi berdasarkan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontaktor guna memindahkan posisi *On* ke *Off* aliran listrik atau sebaliknya secara otomatis dengan memanfaatkan tenaga listrik [6].



Gambar 13. Modul Relay

F. LoRa (Long Range)

LoRa (Long Range) adalah sebuah teknologi komunikasi nirkabel yang dirancang khusus untuk mentransmisikan data dalam jarak jauh dengan konsumsi daya yang rendah. *LoRa* menggunakan modulasi chirp

spread spectrum (CSS) untuk mengirimkan data melalui gelombang radio frekuensi rendah. Teknologi ini biasanya digunakan dalam aplikasi Internet of Things (IoT) yang membutuhkan konektivitas jarak jauh, seperti pemantauan lingkungan, smart metering, pertanian cerdas, dan lain sebagainya [4,5].

LoRa memiliki beberapa keunggulan seperti, jangkauannya yang luas menggunakan daya yang sangat rendah, dan teknologi ini memiliki toleransi yang tinggi terhadap gangguan serta interferensi, sehingga dapat diandalkan dalam lingkungan yang padat atau bising.

G. Modul LGT8F328P

Modul LGT8F328P LQFP32 5V MiniEVB yaitu sebuah papan pengembangan atau *development board* yang menggunakan mikrokontroler LGT8F328P. LGT8F328P merupakan mikrokontroler 32-bit yang kompatibel dengan instruksi AVR dan diproduksi oleh *Logic Green Technology* (LGT). Mikrokontroler ini menawarkan berbagai fitur seperti pin I/O digital, input analog, output PWM, antarmuka UART, I2C, dan SPI, sehingga cocok untuk berbagai aplikasi embedded.



Gambar 14. Modul LGT8F328P

H. Aplikasi Web

Web adalah sistem informasi global yang terdiri dari jaringan halaman-halaman terhubung di internet. Setiap halaman web memiliki konten seperti teks, gambar, video, dan tautan, yang ditampilkan dalam format HTML. Pengguna dapat mengakses halaman web menggunakan browser pada perangkat seperti komputer, ponsel, dan tablet [5].

III. METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode (R&D) *Research and Development* dengan mengacu pada referensi yang terdahulu. Dikarenakan metode ini dianggap efektif untuk melaksanakan penelitian ini.

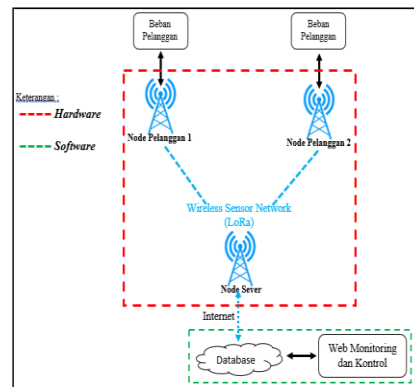
B. Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mikrokontroler ESP32
2. Mikrokontroler LGT8F
3. Modul Relay
4. Sensor PZEM004T
5. Modul Power Supply
6. LoRa Modul dan Antena
7. LCD dan IIC/I2C

C. Rancangan Sistem

Sistem monitoring dan kontrol listrik pelanggan rumah tangga merupakan sebuah prototipe sistem pencatatan elektronika secara otomatis yang prinsip kerjanya dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 15. Prinsip Kerja Sistem Monitoring dan Kontrol

D. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan pertama dilakukan melalui studi literatur, tahapan ini dilakukan untuk mendapatkan data awal yang berhubungan dengan sistem yang akan dibangun seperti sistem pencatatan penggunaan energi listrik oleh pelanggan PLN. Tahapan kedua dilakukan dengan cara pengujian sistem pada node server yaitu dengan cara pengukuran pada sensor PZEM004T untuk mendapatkan nilai arus dan tegangan. Selanjutnya pengujian komunikasi antar node untuk mendapatkan jarak jangkauan dan waktu pengiriman data. Tahapan ketiga atau tahapan terakhir adalah pengujian sistem secara keseluruhan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

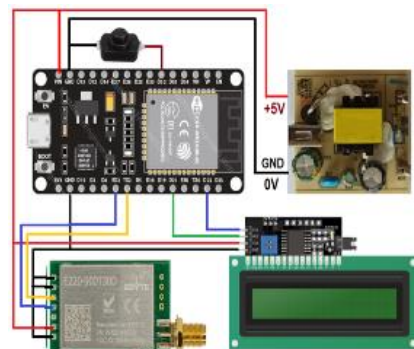
A. Perancangan Sistem

1. Perangkat Keras (*Hardware*)

Ada 2 (dua) node dalam perancangan perangkat keras pada sistem ini, yakni Node Server dan Node Pelanggan.

a. Node Server

Node Server berfungsi sebagai *Station* penghubung antara Node Pelanggan dengan *Web monitoring*, bagian ini dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai komponen utama dan dilengkapi LCD karakter 16x2. Sebagaimana diagram wiring berikut ini:

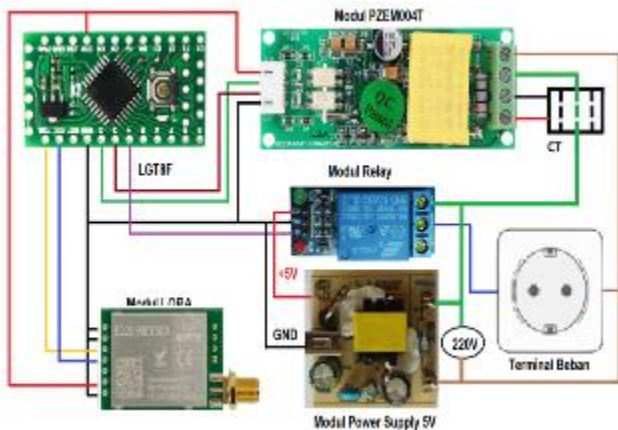


Gambar 7. Diagram Wiring Node Server

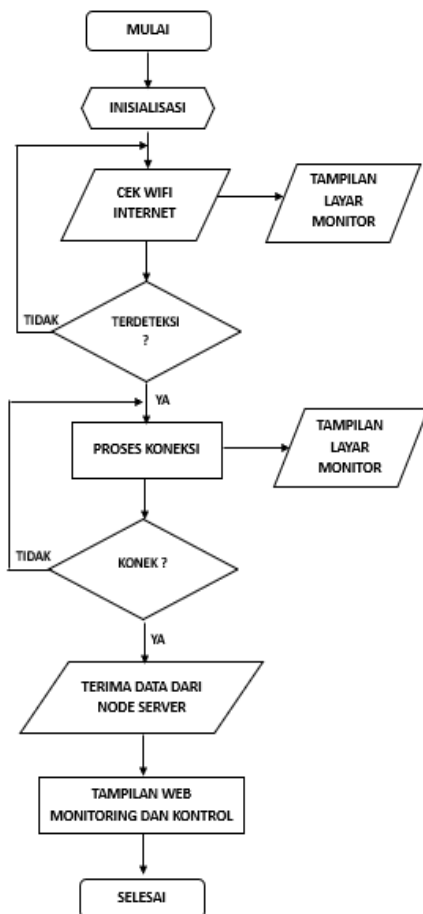
b. Node Pelanggan

Node Pelanggan merupakan perangkat yang terpasang di kWh pelanggan berfungsi sebagai pencatat besaran energi listrik yang digunakan oleh pelanggan rumah tangga. Perangkat ini dibangun menggunakan mikrokontroler LGT8F328P sebagai komponen utama dan dilengkapi dengan modul sensor PZEM004T untuk membaca tegangan dan arus.

Masing-masing node menggunakan Modul LoRa sebagai media komunikasi nirkabel antara node server dan node pelanggan.



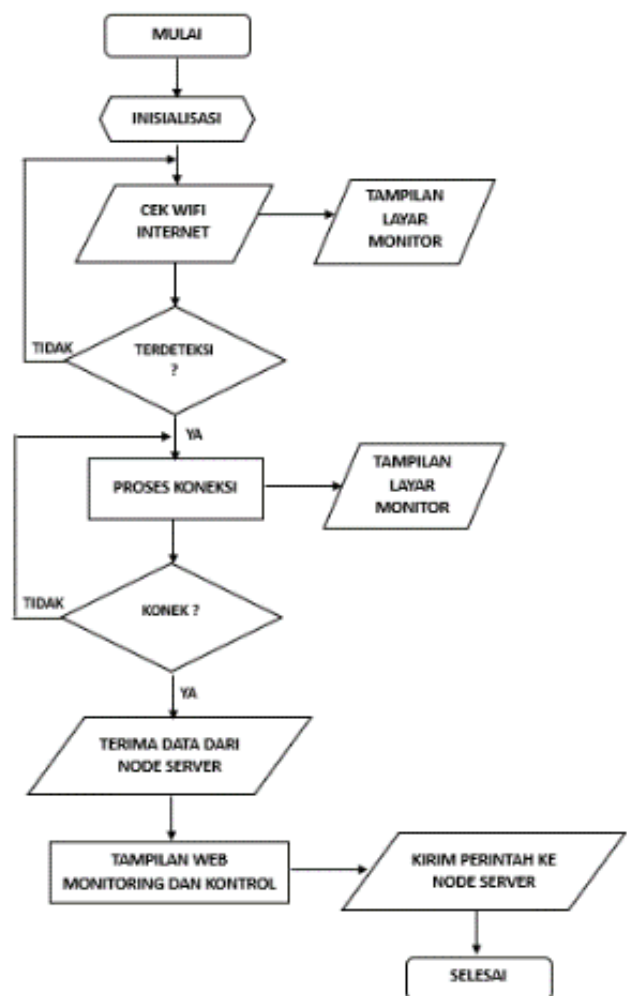
Gambar 8. Diagram Wiring Node Pelanggan



Gambar 9. Flowchart Sistem monitoring

2. Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa sistem yang dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32 dan LGT8F328P yang merupakan *programmable device*. ESP32 pada sistem ini diterapkan pada node server sehingga pemrogramannya dirancang untuk bisa menerima data dari node pelanggan dan dapat mengirim sinyal instruksi untuk mengontrol perangkat yang di node pelanggan, sedangkan LGT8F328P diterapkan sebagai node pelanggan sehingga mikrokontroler ini diprogram untuk mampu menerima data dari sensor-sensor yang digunakan dan mengirim data-data sensor tersebut ke node server. Selain, pemrograman *embedded system*, pada sistem ini dilengkapi sistem monitoring melalui aplikasi web. Pemrograman *embedded system* dan aplikasi web mengikuti desain dan alur pemrogramannya mengacu pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 10. Flowchart Sistem kontrol

B. Pengujian Sistem

Pada bagian ini membahas hasil pengujian dan analisa dari sistem *monitoring* dan kontrol listrik pelanggan rumah tangga berbasis *lora* dengan aplikasi *web*, guna mengetahui kinerja ataupun kendala sistem yang telah dirancang. Pengujian sistem meliputi 1)

Pengukuran Tegangan, 2) Pengukuran Arus, dan 3) Pengujian Jarak Jangkauan Komunikasi antar Node.

1. Pengukuran Tegangan AC

Pada pengujian ini dilakukan pengukuran tegangan AC pada node pelanggan, pengukuran ini dilakukan untuk menguji tingkat akurasi pembacaan sensor pada masing-masing node pelanggan. Metode pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran tegangan yang dibaca oleh sensor dengan hasil pengukuran menggunakan clam meter. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1, diketahui rata-rata error yang dihasilkan sebesar 0,36% pada Node Pelanggan 1 dan rata-rata error pada node pelanggan ke-2 sebesar 0,16%. Sehingga tingkat akurasi pembacaan tegangan pada sistem yang dibuat adalah 99,74% untuk ke-2 node. Nilai ini menunjukkan pembacaan tegangan pada sistem yang dibuat sangat baik.

Tabel 2. Hasil Pengujian Pengukuran Tegangan AC pada Node Pelanggan 1& 2

No	Teg Input (V)	Web Mon Nodpel 1 (V)	Error NodPel 1 (%)	Web Mon Nodpel 2 (V)	Error NodPel 2 (%)
1	213	213	0	213	0
2	214,6	212	1,2	215	0,2
3	216,8	217	0,1	217	0,1
4	221,4	221	0,2	221	0,2
5	221,6	221	0,3	221	0,3
Error Minimum			0		0
Error Maksimum			1,2		0,3
Rata-Rata Error			0,36		0,16

2. Pengukuran Arus AC

Pada pengujian ini dilakukan pengukuran besaran arus AC pada node pelanggan, pengukuran ini dilakukan untuk menguji tingkat akurasi pembacaan sensor pada masing-masing node pelanggan. Metode pengujiannya sama dengan pengujian sebelumnya yaitu pengujian tegangan. Hasil pengujian ini ditampilkan pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa rata-rata error yang dihasilkan pada node pelanggan pertama dan kedua sebesar 4,75%. dimana nilai arus yang tertinggi adalah 0,11 A dan nilai arus yang terendah adalah 0,06 A. Tingkat akurasi pembacaan arus sebesar 95,25%.

Tabel 2. Hasil Pengujian Pengukuran Arus AC pada Node Pelanggan 1& 2

No	Arus Clam Meter (A)	Web Mon Nodpel 1 (A)	Error NodPel 1 (%)	Web Mon Nodpel 2 (A)	Error NodPel 2 (%)
1	0,106	0,11	3,8	0,11	3,8
2	0,067	0,07	4,5	0,07	4,5
3	0,061	0,06	1,6	0,06	1,6
4	0,11	0,1	9,1	0,1	9,1
Error Minimum			1,6		1,6
Error Maksimum			9,1		9,1
Rata-Rata Error			4,75		4,75

3. Pengujian Komunikasi Antar Node

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui sejauhmana kemampuan antar node dapat saling berkomunikasi dan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk saling berkomunikasi dan pengiriman data. Pengujian ini dilakukan di beberapa tempat yaitu Komplek Perumahan Lapadde Mas Jalan Lingkar Lapadde Kecamatan Ujung Kota Parepare Provinsi Sulawesi Selatan.

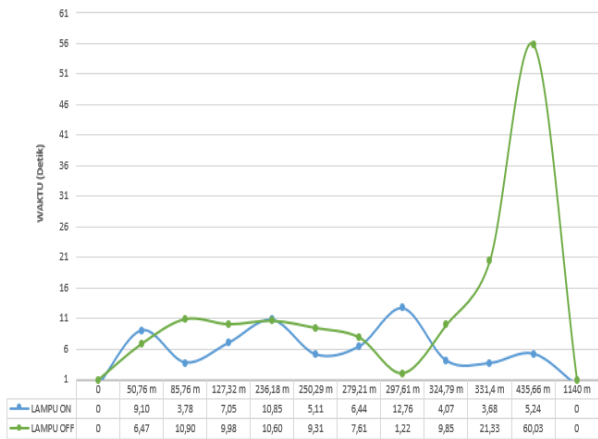


Gambar 11. Lokasi Pengujian Komunikasi Antar Node di Kawasan Padat Penduduk (non line of sight)

Alasan pemilihan lokasi pengujian adalah untuk menguji non line of sight atau dalam kawasan padat penduduk yang banyak sekali hambatan, pengujian ini dilakukan di 11 titik mulai dari yang terdekat hingga yang terjauh sampai Node Server dan Node Pelanggan tidak bisa saling terkoneksi. Adapun data yang diambil pada pengujian ini dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 3. Pengujian Komunikasi Antara Node Server dengan Node Pelanggan 1 pada Kawasan non line of sight

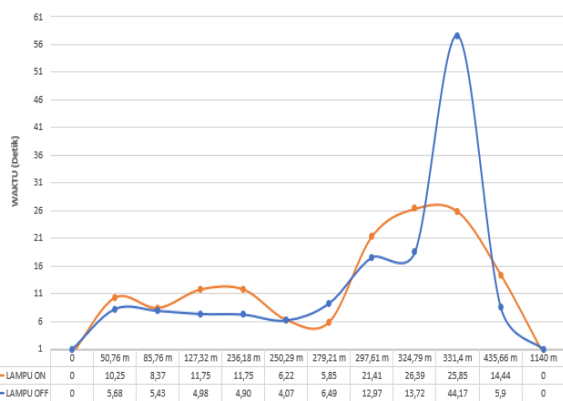
No	Jarak (m)	Waktu kontrol Off (detik)	Waktu kontrol On (detik)	Jangkauan (Y/T)
1	50,76	6,47	9,10	Y
2	85,76	10,90	3,78	Y
3	127,32	9,98	7,05	Y
4	236,18	10,60	10,85	Y
5	250,29	9,31	5,11	Y
6	279,21	7,61	6,44	Y
7	297,61	1,22	12,76	Y
8	324,79	9,85	4,07	Y
9	331,4	21,33	3,68	Y
10	435,66	60,03	5,24	Y
11	1140	Tidak Respon	Tidak Respon	T



Gambar 12. Grafik Node Pelanggan 1 non line of sight

Tabel 4. Pengujian Komunikasi Antara Node Server dengan Node Pelanggan 2 pada Kawasan non line of sight

No	Jarak (m)	Waktu kontrol Off (detik)	Waktu kontrol On (detik)	Jangkauan (Y/T)
1	50,76	5,68	10,25	Y
2	85,76	5,43	8,37	Y
3	127,32	4,98	11,75	Y
4	236,18	4,90	11,75	Y
5	250,29	4,07	6,22	Y
6	279,21	6,49	5,85	Y
7	297,61	12,97	21,41	Y
8	324,79	13,72	26,39	Y
9	331,4	44,17	25,85	Y
10	435,66	5,9	14,44	Y
11	1140	Tidak Respon	Tidak Respon	T



Gambar 13. Grafik Node Pelanggan 2 non line of sight

Berdasarkan pada Tabel 3 dan Tabel 4 serta Gambar 12 dan Gambar 13, dapat dilihat bahwasannya jarak dan waktu berbanding lurus, semakin jauh jarak antara Node Server dengan Node Pelanggan maka semakin lama juga waktu dua Node saling terkoneksi. Pada pengujian di daerah *non line of sight* atau padat penduduk, tidak bisa merespon apabila jaraknya lebih dari 1 Km. dan masih bisa

bekerja dengan baik apabila jarak antara dua *node* ini kurang dari 500 m sampai 1 Km.

Pengujian yang kedua dilakukan didaerah terbuka tanpa hambatan atau bisa disebut dengan *line of sight*. Pengujian dilakukan di lokasi Lapangan Andi Makassar Kota Parepare.

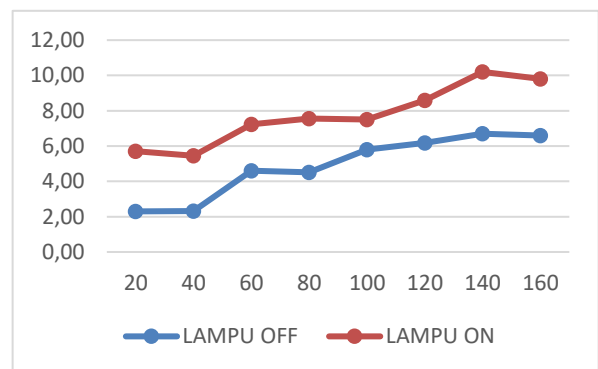


Gambar 14. Lokasi Pengujian Komunikasi di Lokasi Lapangan Andi Makassar Kota Parepare (*line of sight*)

Dapat dilihat pada Gambar 14, Pengujian ini dilakukan di 8 titik mulai dari 20 meter hingga 160 meter. Adapun data yang diambil pada pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 7, berikut ini :

Tabel 5. Pengujian Komunikasi antara Node Server dengan Node Pelanggan 1 *line of sight*

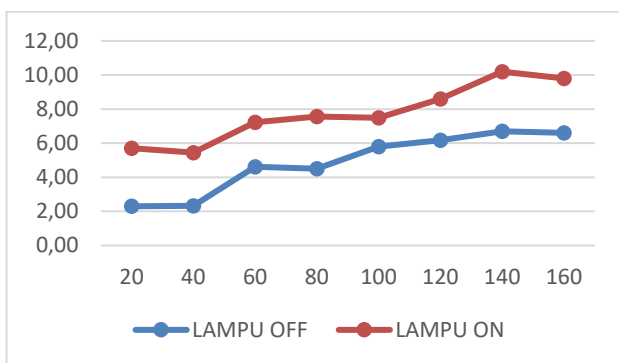
No	Jarak (m)	Waktu kontrol Off (detik)	Waktu kontrol On (detik)	Jangkauan (Y/T)
1	20	4,90	8,37	Y
2	40	4,98	8,42	Y
3	60	5,11	8,40	Y
4	80	5,21	9,41	Y
5	100	5,20	10,21	Y
6	120	6,51	10,25	Y
7	140	6,40	11,42	Y
8	160	7,12	11,48	Y



Gambar 15. Grafik Node Pelanggan 1 *line of sight* jarak terukur

Tabel 6. Pengujian LoRa koneksi antara Node Server dengan Node Pelanggan 2 line of sight jarak terukur

No	Jarak (m)	Waktu kontrol Off (detik)	Waktu kontrol On (detik)	Jangkauan (Y/T)
1	20	2,30	5,71	Y
2	40	2,32	5,45	Y
3	60	4,61	7,23	Y
4	80	4,51	7,56	Y
5	100	5,80	7,50	Y
6	120	6,18	8,60	Y
7	140	6,70	10,2	Y
8	160	6,60	9,80	Y



Gambar 16. Grafik Node Pelanggan 2 line of sight jarak terukur

Sebagaimana grafik yang ditampilkan oleh Gambar 15. dan Gambar 16. pada node pelanggan 2, perubahan waktu penerimaan sinyal pada *Node* pelanggan terhadap *Node Server*. Beberapa faktor yang mempengaruhi perambatan gelombang frekuensi, seperti redaman ruang bebas (*free space path loss*) dan redaman *terrestrial*, umumnya sejalan dengan jarak antara *node* pelanggan dan *node server*. Ini berarti semakin jauh jarak antara *node* pelanggan dan *node server*, semakin besar redaman yang akan dialami oleh gelombang tersebut dan waktu yang dibutuhkan saling berkomunikasi akan semakin lama.

Adapun faktor – faktor yang mempengaruhi dalam pengujian jarak dan waktu ini, pada kondisi *line off sight* ataupun kondisi *non line off sight*, faktor yang pertama yakni redaman ruang bebas (*Free Space Path Loss*), yaitu gelombang elektromagnetik mengalami redaman secara alami saat merambat melalui ruang bebas tanpa penghalang. Redaman ini berhubungan secara invers dengan kuadrat jarak. Artinya, jika jarak antara pemancar dan penerima dua kali lipat, redaman akan menjadi empat kali lipat. Ini juga disebut "hukum kuadrat jarak."

Faktor yang kedua yakni, redaman *terrestrial*. Redaman *terrestrial* juga cenderung meningkat seiring meningkatnya jarak. Faktor-faktor atmosfer seperti hujan, kabut, dan karakteristik atmosfer lainnya dapat menyebabkan redaman tambahan saat gelombang melewati atmosfer. Semakin jauh jarak perjalanan gelombang, semakin besar peluang terjadi redaman tambahan.

Namun, penting untuk diingat bahwa faktor-faktor lain juga dapat mempengaruhi perambatan gelombang dan kualitas sinyal, seperti penghalang fisik, interferensi, dan kondisi atmosfer. Dalam beberapa kasus, meskipun jarak pendek, sinyal masih dapat terganggu oleh penghalang atau kondisi atmosfer yang buruk. Sebaliknya, dalam beberapa situasi, sinyal dapat merambat dengan baik meskipun jarak yang cukup jauh jika tidak ada penghalang dan kondisi atmosfer mendukung.

V.KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem yang dibangun berhasil direalisasikan dengan sebuah prototipe dengan hasil yang cukup baik dalam pembacaan sensor untuk tegangan dan arus dengan tingkat akurasi pembacaan tegangan sebesar 99,74% dan arus sebesar 95,25%. Sedangkan kemampuan komunikasi antar node pada lokasi *non line of sight* sejauh 435 m dengan rata-rata waktu pengiriman 11,65 detik, sedangkan pada lokasi *line of sight* sejauh 2130 m dengan rata-rata waktu pengiriman 8,42 detik, tingkat akurasi pengukuran pemakaian kWh sebesar 63,81%.

REFERENSI

- [1] A. I. Wibowo, D. P. Aji, "Alat Pemutus Sambungan Listrik Pelanggan Berbasis Arduino pada PT PLN (Persero) ULP Pangsid," Tugas Akhir, Universitas Muslim Indonesia, 2020.
- [2] D. A. H. Sumayow, V. C. Poekoel, P. Manembu, "Smart Meter Menggunakan Platform OVoRD, Tugas Akhir, Universitas Sam Ratulangi, 2021.
- [3] A. Muttaqin, R. A. Setyawan & M. Muslichin, "Optimasi Daya Baterai Menggunakan Bluetooth Low Energy Pada Routing di Wireless Sensor Network," *Jurnal EECCIS (Electrics, Electronics, Communications, Controls, Informatics, Systems)*, vol. 15, no. 2, pp. 62-67, 2021
- [4] Taufik, Misbahuddin, I. M. A. Nrartha, "Sistem Pemantauan dan Pengendalian Penerangan Jalan Umum Berbasis *Internet Of Things* Menggunakan Perangkat Komunikasi LoRa," *Dielektrika*, vol. 8, no. 2, pp. 95-102, 2020.
- [5] R. Rusito, "Teknologi Internet: Dasar Internet Teknologi IoT (Internet of Thing) dan Bahasa HTML," Penerbit Yayasan Prima Agus Teknik, 2021
- [6] M. Iqbal, (2022). Pengenalan LPWAN, LoRa, NB-IoT. Diperoleh dari: <https://miqbal.staff.telkomuniversity.ac.id/pengenalan-lpwan-lora-nb-iot>. (Diakses 12 Mei 2023).
- [7] D. Oktavianto, V. Prasetia & A. A. Musyafiq, "Monitoring Automatic Transfer Switch Menggunakan Google Spreadsheet," Tugas Akhir, Politeknik Negeri Cilacap), 2022