BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

PLN, perusahaan listrik milik negara Indonesia, bertindak sebagai penyedia tunggal yang bertanggung jawab untuk mendistribusikan listrik ke seluruh negeri. Sebagai utilitas vital, PLN memastikan bahwa rumah, bisnis, dan lembaga publik memiliki akses listrik yang andal. Untuk mengukur dan menagih konsumsi energi secara akurat, PLN menggunakan satuan pengukuran standar yang dikenal sebagai kilowatt-jam (kWh). Satuan ini menunjukkan jumlah energi yang digunakan dari waktu ke waktu, khususnya berapa kilowatt yang dikonsumsi dalam satu jam. Dengan menggunakan kWh, PLN dapat secara efektif memantau penggunaan listrik individu dan rumah tangga, memungkinkan penagihan yang adil dan manajemen energi yang efisien. Sistem ini memainkan peran penting dalam menjaga pasokan listrik Indonesia dan mempromosikan konsumsi energi yang bertanggung jawab secara nasional.

Dalam operasional PT PLN (Persero), selain pengukuran dan pemantauan penggunaan energi listrik pelanggan, adapun tugas PLN untuk menertibkan dan menindaklanjuti pelanggaran pemakai tenaga listrik yang disebabkan dari penyambungan secara langsung, mengakali pengukuran di kwh meter, mengotak-atik alat ukur dan pembatas, memperbesar daya atau MCB di kwh meter PLN, menyambung kembali listrik yang sudah diputus karena menunggak, dan pelanggaran lainnya. PLN sangat bergantung pada kWh meter yang terpasang di

tiap rumah atau bangunan. Namun, karena keterbatasan petugas dan jam kerja pada PLN, PLN tidak memungkinkan untuk melakukan pengecekan secara *Real-Time* kepada seluruh pelanggan yang telah disegel/diputus secara bersamaan, berdasarkan data dari kantor PLN ULP Rappang rata-rata ada 7 sampai 15 pelanggan yang telah diputus karena menunggak di akhir bulan, akan tetapi PLN menemukan laporan ada beberapa pelanggan di jam kerja menyambung kembali listrik yang telah diputus sehingga PLN mengalami kerugian, dan berpotensi menimbulkan kerugian energi atau finansial bagi PLN. Sedangkan pihak PLN tidak dapat menemukan jika ada oknum pelanggan yang melanggar di luar jam kerja. Oleh karena itu dibutuhkan alat yang bisa memonitoring secara *Real-Time* agar pihak PLN tetap bisa menemukan pelanggan tersegel mana saja yang telah melakukan pelanggaran.

Penyegelan kWh dilakukan jika pelanggan PLN terlambat atau tidak membayar tagihan listrik. Namun banyak juga pengguna yang melakukan pencurian listrik walaupun telah dilakukan penyegelan kWh oleh pihak PLN. Salah satu cara pencurian yang dilakukan adalah dengan menyambungkan kembali kabel yang telah diputuskan. Hal ini dapat berujung pada sanksi denda yang cukup besar, penetapan tagihan susulan, dan pemutusan aliran listrik, Salah satunya berdasarkan Peraturan Direksi PT. PLN (Persero) Nomor 0028.P/DIR/2023 Pasal 17 C. Pihak PLN dapat menetapkan pelanggaran Golongan III apabila “pelanggan menyambung kembali tanpa izin PLN tenaga listrik yang telah dilakukan Pemutusan Sementara”.

Penggunaan teknologi informasi dan komunikasi yang modern sangat diperlukan untuk mengatasi permasalahan ini. Sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) dengan teknologi LoRa (Long Range) memberikan solusi dengan kemampuan pengiriman data jarak jauh, konsumsi daya rendah, dan monitoring real-time yang dapat meningkatkan akurasi data serta efisiensi pengelolaan kWh meter tersegel pelanggan PLN. Dengan sistem ini, PLN dapat melakukan pemantauan adanya potensi kecurian listrik secara otomatis dan mengurangi risiko kerugian akibat penyalahgunaan atau pencurian tenaga listrik, sehingga pihak PLN dapat segera mengetahui dengan cepat dan memberikan sanksi yang sesuai kepada pelanggan PLN.

Dengan penggabungan sistem monitoring kepada kWh tersegel, diharapkan dapat memonitoring arus dan tegangan jika terjadinya pencurian listrik pada kWh pelanggan yang telah disegel (diputus) sebelumnya. Oleh itu penulis mengajukan sebuah skripsi yang berjudul **"Sistem Monitoring kWh Meter Tersegel Pada Pelanggan PLN Menggunakan Lora Terintegrasi Melalui Telegram Berbasis IoT"**.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan indentifikasi permasalahan yang telah diuraikan pada latar belakang, mendapatkan penyelesaian masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang sistem monitoring kWh meter tersegel (diputus sementara) pada pelanggan PLN menggunakan Lora?
2. Bagaimana hasil kinerja dari monitoring dilakukan agar dapat mengetahui status kecurian listrik yang berlaku dengan cepat?

3. Apa keuntungan penggunaan alat terhadap perusahaan?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan diatas dan hendaknya dapat dicapai dalam pembuatan tugas akhir ini ya itu :

1. Merancang sistem monitoring kWh meter tersegel (diputus sementara) pada pelanggan PLN menggunakan Lora.
2. Dapat melakukan monitoring secara realtime dengan data yang akurat agar dapat mengetahui status kecurian listrik yang berlaku dengan cepat.
3. Untuk dapat mengidentifikasi dan memantau apabila terjadi pelanggaran oleh pelanggan/oknum yang melakukan pencurian listrik agar perusahaan tidak mengalami kerugian.

D. Batasan Masalah

Untuk meningkatkan konsentrasi dan mencapai hasil yang lebih baik, pedoman dan batasan khusus telah ditetapkan untuk membahas tugas akhir, memastikan pendekatan yang lebih terstruktur dan efektif terhadap tugas yang ada:

1. Alat dan sistem ini hanya berupa *prototype.*
2. Alat dan sistem akan dicoba pada kWh listrik pelanggan yang telah disegel (diputus sementara) sebelumnya.
3. Data yang dimonitoring adalah arus dan tegangan listrik.

E. Manfaat Penelitian

Peneliti mempunyai sasaran atau tujuan yang ingin dicapai dalam Studi ini antara lain:

1. Memudahkan instansi terkait dalam memonitoring kWh listrik yang sudah tersegel (diputus sementara).
2. Melihat efektivitas sistem monitoring kWh listrik yang tersegel (diputus sementara) dengan jarak jauh menggunakan LoRa dan terintegrasi website
3. Untuk membantu perusahaan agar lebih mudah menemukan pelanggaran yang dilakukan pelanggan/oknum pemakai tenaga listrik agar potensi pendapatan perusahaan tidak mengalami kerugian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. kWh



Gambar 2. 1 kWh

Kilowatt-jam (kWh) adalah satuan umum yang digunakan untuk mengukur konsumsi energi listrik. Satuan ini menunjukkan jumlah energi yang digunakan saat perangkat dengan daya seribu Watt beroperasi terus-menerus selama satu jam. Pengukuran ini penting untuk memahami dan menghitung tagihan listrik, karena perusahaan utilitas mendasarkan biaya mereka pada jumlah kilowatt-jam yang dikonsumsi. Umumnya, pembacaan kWh yang lebih tinggi berarti lebih banyak energi yang digunakan, yang mengarah pada biaya yang lebih tinggi. Sebagai perbandingan, satu kilowatt-jam setara dengan 3,6 juta Joule energi.

Satuan standar ini membantu konsumen dan penyedia memantau penggunaan, mengelola efisiensi energi, dan merencanakan anggaran secara efektif

2. Listrik

Energi listrik sangat penting untuk memberi daya pada rumah kita, mengaktifkan komunikasi, dan mendukung aktivitas sehari-hari secara efisien (Sunawar & Daryanto, 2022). Listrik merupakan fenomena mendasar yang melibatkan muatan positif dan negatif. Listrik terjadi ketika arus listrik mengalir dari daerah dengan potensi tinggi ke daerah dengan potensi rendah. Konduktor seperti logam memungkinkan arus ini mengalir dengan mudah, karena elektron bebas bergerak bebas di antara atom. Demikian pula, air yang mengandung elektrolit terlarut dapat menghantarkan listrik, karena ion-ion ini membawa muatan melalui larutan. Proses ini mendukung banyak teknologi dan memainkan peran penting dalam sistem listrik dan elektronik sehari-hari.

Arus listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis utama: arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC). Arus searah mengalir secara stabil dalam satu arah, sehingga ideal untuk aplikasi seperti elektrolisis, perangkat elektronik, dan baterai, di mana aliran listrik yang konsisten sangat penting untuk pengoperasian yang tepat.

Arus bolak-balik (AC), yang umum digunakan di rumah dan pabrik, memberi daya pada peralatan secara efisien tetapi lebih berbahaya karena kemampuannya menyebabkan sengatan listrik yang lebih kuat dan cedera yang lebih parah dibandingkan dengan arus searah.

3. Tegangan Listrik

Tegangan listrik, perbedaan potensial antara dua titik, sangat penting untuk memberi daya pada perangkat dan sistem. Tegangan listrik berasal dari pembangkit listrik yang menghasilkan energi yang dibutuhkan untuk berbagai aplikasi. Tegangan dikategorikan ke dalam beberapa jenis, seperti tegangan sangat rendah dan tegangan rendah, yang masing-masing memiliki tujuan dan standar keselamatan tertentu dalam instalasi listrik. Klasifikasi tegangan listrik meliputi:

a. Tegangan Sangat Rendah, Dalam klasifikasi standar, level tegangan dikategorikan berdasarkan rentangnya. Secara khusus, tegangan hingga 50 volt dianggap berada dalam batas bawah, sedangkan Tegangan Rendah (LV) mencakup rentang yang lebih luas dari 50 volt hingga 1000 volt, yang memastikan pengoperasian sistem kelistrikan yang aman dan efisien.
b. Tegangan menengah (*Medium Voltage*= MV), kabel tegangan menengah (1 KV–36 KV) harus sesuai untuk digunakan dalam berbagai sistem distribusi listrik, memastikan keamanan, daya tahan, dan kinerja yang andal dalam kondisi dan faktor lingkungan tertentu.
c. Tegangan tinggi (*High Voltage =HV*), Kabel tegangan tinggi, berkisar antara 36 KV hingga 150 KV, cocok untuk mentransmisikan daya listrik dalam jumlah besar melalui jarak jauh secara efisien dan andal dalam sistem distribusi daya skala industri, komersial, dan utilitas.
d. Tegangan ekstra tinggi (*High Extra Voltage =HEV*), Kabel harus mendukung tegangan berkisar antara 150 kilovolt hingga 750 kilovolt,

memastikan transmisi daya listrik tegangan tinggi yang andal melintasi jarak jauh dengan keamanan dan efisiensi.

e. Tegangan ultra tinggi (*High Ultra Voltage =HUV*), Kabel Tegangan Ultra Tinggi beroperasi di atas 750 KV dan cocok untuk mentransmisikan daya listrik berskala besar melalui jarak jauh secara efisien dan andal, mendukung kebutuhan jaringan listrik modern.

4. Arus Listrik

Arus listrik adalah aliran elektron melalui konduktor, yang dipicu oleh perbedaan potensial yang bertindak sebagai gaya penggerak. Perbedaan potensial ini menciptakan medan listrik, yang mendorong elektron untuk berpindah dari satu atom ke atom lainnya. Saat elektron bergerak melalui material, mereka mentransfer energi, yang memungkinkan perangkat listrik beroperasi secara efisien dan melakukan pekerjaan yang bermanfaat.

Dalam sistem kelistrikan standar, aliran elektron secara alami bergerak menuju area bertekanan lebih rendah, sementara ukuran arus keseluruhan ditentukan oleh kapasitas dan keluaran pembangkit listrik yang memasok sirkuit.

Dalam sistem propulsi listrik standar, penting untuk menjaga aliran arus listrik yang stabil dan memadai. Prosedur pemutusan yang tepat juga diperlukan untuk memastikan keselamatan manusia dan memungkinkan pemanfaatan energi listrik secara efektif, mencegah potensi bahaya, dan memastikan kinerja sistem yang optimal.

Kecepatan arus listrik, sering disebut laju arus dan dilambangkan dengan I dalam Ampere, mengukur seberapa banyak muatan listrik yang mengalir melalui konduktor setiap detik. Kecepatan ini mencerminkan laju pergerakan elektron, yang memberikan wawasan tentang aliran energi listrik dalam sirkuit dan perangkat.

Arus listrik terbagi menjadi dua jenis mendasar: arus searah, yang mengalir terus menerus dalam satu arah, dan arus bolak-balik, yang secara berkala berbalik arah, memberi daya pada berbagai perangkat listrik di sekitar kita. Penejelasan nya yakni:

a. *Direct current* atau arus searah merujuk pada aliran listrik yang stabil dan tidak berubah yang bergerak secara konsisten dalam satu arah, menyediakan sumber daya yang andal untuk berbagai perangkat dan aplikasi elektronik.
b. *Alternating current* atau arus bolak-balik adalah jenis arus listrik yang berubah dalam pola sinusoidal, yang berulang kali berubah arah seiring waktu. Pembalikan berkala ini memungkinkan transmisi energi listrik yang efisien dalam jarak jauh. Dihasilkan oleh pembangkit listrik, AC adalah bentuk utama listrik yang dipasok ke rumah dan bisnis di seluruh dunia. Fleksibilitasnya membuatnya ideal untuk memberi daya pada berbagai perangkat elektronik, peralatan, dan perlengkapan industri, memastikan pengiriman energi yang andal dan konsisten untuk penggunaan sehari-hari.

5. ***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.

LORA memiliki beberapa keunggulan yang membuatnya populer dalam aplikasi IoT. Pertama, jangkauannya yang luas memungkinkan transmisi data hingga beberapa kilometer, tergantung pada kondisi lingkungan. Hal ini memungkinkan pengiriman data dari perangkat yang terletak di daerah terpencil atau terjauh. Kedua, LORA menggunakan daya yang sangat rendah, sehingga dapat beroperasi dalam waktu yang lama dengan baterai yang terbatas. Ketiga, teknologi ini memiliki toleransi yang tinggi terhadap gangguan dan interferensi, sehingga dapat diandalkan dalam lingkungan yang padat atau bising.

LORA juga bekerja dalam mode half duplex, yang berarti data hanya dikirim bisa dua arah. Kedua perangkat dapat mengirim dan menerima data, tetapi satu persatu dan tidak secara bersamaan

Teknologi LORA semakin populer dan banyak digunakan dalam berbagai aplikasi IoT, karena kemampuannya yang dapat diandalkan dalam jarak jauh, dengan konsumsi daya yang rendah, LORA menjadi salah satu pilihan yang menarik untuk membangun jaringan sensor nirkabel yang luas dan efisien.

Dalam arsitektur jaringan LoRaWAN, terdapat tiga komponen utama yang memiliki peran berbeda namun saling terintegrasi, yaitu end device, LoRa gateway, dan network server.

End device merupakan perangkat terminal yang berfungsi sebagai sumber maupun penerima data di lapangan. Perangkat ini umumnya berupa sensor atau aktuator yang dipasang untuk mengukur parameter tertentu, misalnya suhu, kelembaban, tekanan udara, atau lokasi geografis. Data hasil pengukuran tersebut kemudian dikirimkan ke jaringan menggunakan modulasi LoRa dengan konsumsi daya yang sangat rendah, sehingga memungkinkan end device beroperasi dalam jangka waktu lama menggunakan baterai. Berdasarkan standar LoRaWAN, end device terbagi ke dalam tiga kelas, yaitu Class A, Class B, dan Class C, yang masing-masing memiliki karakteristik berbeda dalam hal pola komunikasi dan efisiensi energi.

Selanjutnya, LoRa gateway berperan sebagai penghubung antara end device dengan infrastruktur jaringan. Gateway menerima sinyal LoRa dari berbagai end device yang berada dalam jangkauannya, kemudian meneruskannya ke network server melalui jaringan IP dengan media transmisi seperti Ethernet, WiFi, maupun seluler. Gateway bersifat transparan karena tidak melakukan pengolahan data, melainkan hanya bertugas untuk mengonversi sinyal radio menjadi paket data digital dan menyampaikannya ke server. Dengan kemampuan multi-channel dan multi-data rate, satu LoRa gateway dapat melayani ribuan perangkat end device secara bersamaan.

Sementara itu, network server berfungsi sebagai pusat kendali dan manajemen jaringan LoRaWAN. Server ini memiliki tanggung jawab untuk melakukan autentikasi perangkat, pengelolaan keamanan komunikasi dengan enkripsi AES-128, serta eliminasi paket data yang bersifat duplikat akibat diterima oleh lebih dari satu gateway. Selain itu, network server mengatur kualitas komunikasi melalui mekanisme Adaptive Data Rate (ADR), yang menyesuaikan kecepatan data dan daya pancar end device agar lebih efisien. Data yang sudah difilter dan divalidasi kemudian diteruskan ke application server, di mana data tersebut diolah lebih lanjut dan disajikan dalam bentuk informasi yang dapat digunakan oleh pengguna akhir. Network server juga berfungsi dalam komunikasi dua arah, yaitu tidak hanya menerima data dari end device tetapi juga mengirimkan instruksi atau perintah kembali melalui gateway.

Dengan adanya tiga komponen utama ini, jaringan LoRaWAN mampu menyediakan komunikasi data jarak jauh yang andal, hemat energi, dan sesuai untuk berbagai kebutuhan aplikasi Internet of Things (IoT) seperti smart agriculture, smart city, monitoring industri, hingga sistem peringatan dini bencana.

Adapun Spesifikasi Modul LoRa SX1278 / SX1276 :

a) Informasi Umum

- Produsen Chip: Semtech Corporation
- Jenis Chip :LoRa Transceiver IC
- Modulasi LoRa™ (Chirp Spread Spectrum), FSK, GFSK, MSK, GMSK, OOK

- Fungsi: Digunakan untuk komunikasi jarak jauh berdaya rendah (LPWAN) dalam sistem IoT, WSN, Smart Agriculture, Smart City.

b) Perbedaan SX1278 vs SX1276

Tabel 2.1 Parameter SX1278 dan SX1276

Parameter	SX1278	SX1276
Rentang Frekuensi	137 – 525 MHz (umumnya 433 MHz)	137 – 1020 MHz (umumnya 868/915 MHz)
Aplikasi Utama	Asia (433 MHz legal)	Eropa (868 MHz), Amerika (915 MHz)
Sensitivitas	Hingga -137 dBm	Hingga -148 dBm
Jangkauan	5–15 km (LOS)	5–10 km (LOS)

c) Pinout Modul LoRa SX1278/SX1276 (contoh RA-02)

Tabel 2.2 pin out modul lora

Pin	Nama	Fungsi
1	GND	Ground
2	DIO1	Interrupt/IRQ
3	DIO2	Interrupt/IRQ
4	DIO3	Interrupt/IRQ
5	DIO4	Interrupt/IRQ
6	DIO5	Interrupt/IRQ
7	RESET	Reset modul
8	NSS (CS)	Chip Select (SPI)
9	SCK	SPI Clock
10	MISO	Data Out (SPI)
11	MOSI	Data In (SPI)
12	DIO0	Interrupt utama (TxDone/RxDone)
13	VCC (3.3V)	Tegangan suplai
14	GND	Ground

Dengan spesifikasi di atas, modul SX1278 (433 MHz) lebih cocok untuk penelitian di Indonesia karena sesuai regulasi, sedangkan SX1276 (868/915 MHz)

banyak dipakai di Eropa dan Amerika. Adapun keunggulan dari LoRa sebagai berikut :

- Geolocation, memungkinkan mendeteksi lokasi keberadaan suatu benda tanpa biaya alias gratis.
- Biaya Rendah, dapat mengurangi biaya dengan mengurangi biaya infrastruktur, biaya operasional dan sensor-sensor yang mempunyai jaringan nya sendiri.
- Terstandar, dibuat agar dapat berinteraksi den berfungsi dengan produk atau sistem lain.
- Daya Rendah, dengan konsumsi daya yang dibutuhkan hanya berkisar dari 13 ma hingga 15 ma. Sehingga baterai dapat bertahan 20 tahun.
- Jarak Jauh, LoRa dapat memancarkan hingga 100km.
- Aman, Tertanam end-to end enkripsi AES128
- Kapasitas Tinggi, Mendukung jutaan pesan per base station, ideal untuk operator jaringan publik yang melayani banyak pelanggan.

LoRa menggunakan modulasi Chirp Spread Spectrum (CSS) yang telah diadopsi oleh IEEE untuk standar Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) 802.15.4. Beberapa istilah dasar pada CSS:

- Bit : satuan dasar informasi digital dan bersifat biner (1/0, high/low). Bit rate (Rb) adalah laju perubahan bit tiap satuan waktu.
- Symbol : 1 Symbol dapat memuat beberapa bit data dapat berbentuk waveform ataupun code. Symbol rate (Rs) adalah laju perubahan symbol tiap satuan waktu.

- Chip : satuan elemen dalam konteks Chirp Spread Spectrum yang berbentuk pulsa (pulse). Ini diperlukan agar tidak tertukar dengan istilah bit. Chip rate (Rc) merupakan laju perubahan chip persatuan waktu.
- Chirp : “Compressed High Intensity Radar Pulse” merupakan meningkatnya sinyal frekuensi (up-chirp) atw turun (down-chirp) terhadap waktu. Istilah chirp rate sama dengan symbol rate secara umum.

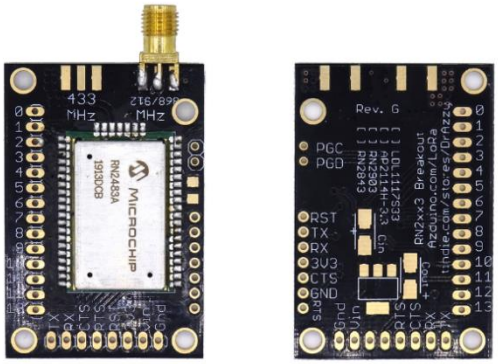
Ada beberapa modul LORA yang kompatibel dengan mikrokontroler seperti Arduino. Beberapa modul LORA yang umum digunakan untuk mikrokontroler adalah:

- SX1278/SX1276: Modul ini menggunakan chip LORA SX1278 atau SX1276 dan memiliki fitur transceiver LORA dengan jangkauan jarak yang luas. Modul ini tersedia dalam berbagai variasi dan dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler melalui antarmuka serial, seperti SPI. Keampuan jangkauan hingga 5 Km dengan frequensi 915 Mhz



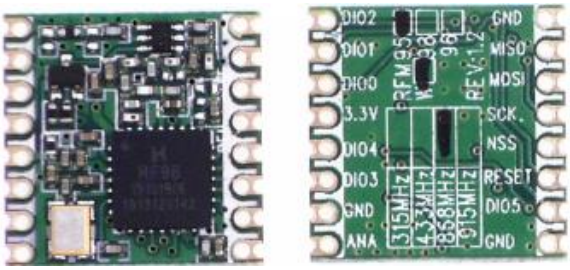
Gambar 2.2 LoRa SX1278 & SX1276

- RN2483/RN2903: Modul ini menggunakan chip LORA RN2483 atau RN2903 yang sudah terintegrasi dengan stack protokol LoRaWAN. Modul ini dapat berkomunikasi dengan mikrokontroler melalui antarmuka serial UART.



Gambar 2.3 loRa RN2483

- RFM95W/RFM96W: Modul ini menggunakan chip LORA RFM95W atau RFM96W yang juga mendukung protokol LoRaWAN. Modul ini dapat dihubungkan dengan mikrokontroler melalui antarmuka SPI.



Gambar 2.4 LoRa RFM95W

- RAK811/ RAK811 Breakout Board: Modul ini menggunakan chip LORA RAK811 dan juga mendukung protokol LoRaWAN. Modul ini biasanya tersedia dalam bentuk breakout board, yang memudahkan penggunaan dengan mikrokontroler. Modul ini dapat dihubungkan dengan mikrokontroler melalui antarmuka serial UART atau SPI.



Gambar 2.5 LoRaWAN RAK811

Penting untuk dicatat bahwa modul LORA sering memerlukan perangkat lunak dan perpustakaan (library) tertentu untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler, tergantung pada modul dan platform yang digunakan.

6. *Modul PZEM-004T*



Gambar 2.6 *PZEM-004T*

PZEM-004T adalah modul elektronik canggih yang dirancang untuk mengukur berbagai parameter listrik secara akurat seperti tegangan, arus, daya,

frekuensi, konsumsi energi, dan faktor daya. Fungsionalitasnya yang serbaguna menjadikannya komponen penting untuk memantau dan menganalisis sistem kelistrikan, memastikan efisiensi, keamanan, dan kinerja optimal dalam berbagai aplikasi, mulai dari otomatisasi rumah hingga manajemen energi industri :

a. Fungsi pengukuran (*voltage* / tegangan, *current* / arus, *active power*).
b. *Power button clear / reset Energy (PZEM-004T V2.0)*
c. *Power-down data storage function (cumulative power down before saving)*
d. Komunikasi Serial *TTL*
e. Pengukuran *Power* / Daya : 0 ~ 9999kW
f. Pengukuran *Voltage* / Tegangan : 80 ~ 260VAC
g. Pengukuran *Current* / Arus : 0 ~ 100A

Spesifikasi dari modul adalah seperti berikut :

a. *Working voltage: 80 ~ 260VAC*
b. *Rated power: 100A / 22000W*
c. *Working Frequency: 45-65Hz*
d. *Measurement accuracy: 1.0*

Sensor *PZEM-004T* terintegrasi secara mulus dengan platform Arduino dan ESP8266, memungkinkan pengguna untuk dengan mudah memantau tegangan, arus, dan konsumsi daya dalam proyek mereka dengan pengukuran yang andal dan akurat.

7. *Arduino IDE*



Gambar 2.7 *Arduino IDE*

Integrated Developtment Enviroenment, yang umumnya dikenal sebagai *IDE,* adalah perangkat lunak penting yang digunakan oleh programmer untuk menulis, menguji, dan men-debug kode secara efisien. Untuk platform seperti *Arduino*, *IDE* menyediakan antarmuka yang mudah digunakan yang menyederhanakan proses pemrograman. Bahasa pemrograman Arduino didasarkan pada C tetapi telah disederhanakan agar lebih mudah diakses oleh pemula. Selain itu, papan Arduino dilengkapi dengan bootloader yang sudah terpasang sebelumnya, yang bertindak sebagai perantara penting. Bootloader ini memungkinkan kompiler Arduino untuk berkomunikasi dengan lancar dengan mikrokontroler, sehingga pengguna dapat mengunggah program mereka dengan mudah sebelum perangkat dikirimkan. Secara keseluruhan, *IDE* dan bootloader bersama-sama membuat Arduino dapat diakses oleh pemula dan programmer berpengalaman.

Arduino *IDE* dikembangkan menggunakan Java, menyediakan antarmuka yang mudah digunakan untuk pemrograman mikrokontroler. IDE ini

memanfaatkan pustaka C/C++ yang dikenal sebagai Wiring, yang menyederhanakan proses penanganan operasi input dan output. Selain itu, IDE ini dibangun di atas platform Processing, yang menawarkan lingkungan yang familier untuk pengodean kreatif. Pengguna menulis program, yang disebut sketsa, dalam berkas teks yang dapat dengan mudah diunggah ke papan Arduino untuk berbagai proyek.

8. *Mikrokontroler*

Mikrokontroler adalah perangkat elektronik kecil namun canggih yang berfungsi sebagai unit pemrosesan pusat dalam berbagai sistem otomasi. Mikrokontroler mencakup unit pemrosesan pusat (CPU), memori untuk menyimpan data dan program, dan port input/output untuk berkomunikasi dengan komponen lain. Fitur-fitur ini memungkinkan mikrokontroler berinteraksi dengan lancar dengan sensor untuk mengumpulkan informasi dan dengan aktuator untuk melakukan tindakan. Misalnya, mikrokontroler digunakan untuk mengendalikan peralatan rumah tangga, mengelola fungsi otomotif, atau mengoperasikan mesin industri. Karena ukurannya yang ringkas dan keserbagunaannya, mikrokontroler merupakan komponen mendasar dalam sistem tertanam, yang menawarkan solusi yang efisien dan hemat biaya untuk tugas-tugas otomasi. Mikrokontroler sangat dapat diprogram, umumnya menggunakan bahasa seperti C atau assembly, yang memungkinkan pengembang untuk menyesuaikan fungsionalitasnya dengan aplikasi tertentu. Penerapannya yang luas menggarisbawahi pentingnya mikrokontroler dalam teknologi elektronik dan otomasi modern.

a. Pengertian Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler ESP32 merupakan sebuah mikrokontroler yang sangat esensial dalam pengembangan aplikasi IoT. Berdasarkan arsitektur chipset ESP32, mikrokontroler ini mengintegrasikan prosesor *dual-core* 32-bit Xtensa LX6 dengan kecepatan operasi hingga 240 MHz. Selain itu, NodeMCU ESP32 dilengkapi dengan memori 520 KB SRAM dan memori flash sebesar 4 MB, yang memungkinkan penyimpanan dan eksekusi program secara efektif.

Fitur unggulan dari NodeMCU ESP32 termasuk modul Wi-Fi dan bluetooth yang terintegrasi, sehingga memungkinkan komunikasi nirkabel dalam pengembangan perangkat IoT. Pin input/output yang beragam pada mikrokontroler ini memungkinkan interaksi dengan berbagai perangkat eksternal seperti sensor dan aktuator, mendukung fungsi pengukuran dan kontrol pada sistem.



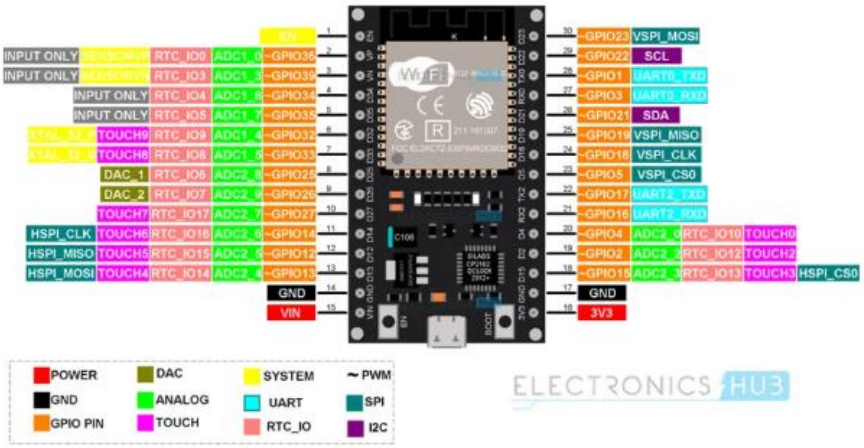
Gambar 2.8 Mikrokontroler ESP32

ESP32 memiliki lebih banyak fitur daripada ESP8266. Memulai dengan ESP32 ini. Berikut ini daftar beberapa spesifikasi penting dari ESP32 :

Tabel 2. 3 Spesidikasi Teknis Mikrokontroler ESP32

No	Nama	Deskripsi
1	Tegangan INPUT	5 Volt
2	Tegangan kerja	5 Volt
3	ADC PIN	18 Buah
4	DAC PIN	2 Buah
5	Flash Memori	128 KB
6	SRAM	320 KB
7	Clock Speed	240 MHz
8	Komunikasi	WIFI,Bluetooth.I2C,SPI,Serial
9	Ukuran board	58,6 mm x 29 mm
10	Berat	25 gram

ESP32 memiliki 48 pin serbaguna yang dapat dikonfigurasi sebagai input dan output analog atau digital, sehingga memberikan fleksibilitas yang luas untuk berbagai aplikasi. Pin yang mudah beradaptasi ini memungkinkan pengembang untuk merancang proyek yang rumit dengan mudah, sehingga memungkinkan integrasi sensor, aktuator, dan antarmuka komunikasi yang lancar dalam berbagai sistem tertanam :



Gambar 2.9 Pin out ESP32

1) VCC: Pin ini digunakan untuk menyuplai tegangan ke board, biasanya 3.3V.

2) GND: Pin ground, digunakan untuk menyelesaikan sirkuit.

3) GPIO (General Purpose Input/Output): Pin ini dapat dikonfigurasi sebagai input atau output. Beberapa pin GPIO memiliki fungsi khusus, seperti:

a) ADC (Analog to Digital Converter): Pin ini dapat digunakan untuk membaca sinyal analog. Misalnya, GPIO 34-39 digunakan sebagai pin ADC.

b) DAC (Digital to Analog Converter): Pin ini dapat digunakan untuk menghasilkan sinyal analog dari sinyal digital. GPIO 25 dan 26 memiliki fungsi DAC.

c) PWM (Pulse Width Modulation): Pin ini dapat digunakan untuk mengontrol perangkat seperti motor servo dan LED dengan sinyal PWM.

d) Touch Sensor: Beberapa pin GPIO dapat digunakan sebagai sensor sentuh kapasitif. Misalnya, GPIO 4, 12-15, 27, dan 32-33.

4) UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter): Pin ini digunakan untuk komunikasi serial. Misalnya, GPIO 1 (TX) dan GPIO 3 (RX) digunakan untuk komunikasi UART.

5) SPI (Serial Peripheral Interface): Pin ini digunakan untuk komunikasi SPI, yang umum digunakan untuk menghubungkan perangkat seperti layar dan memori flash.

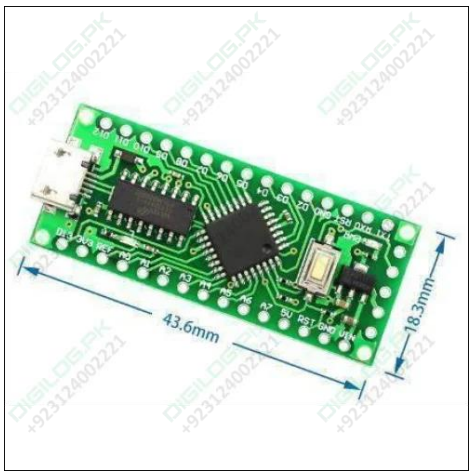
6) I2C (Inter-Integrated Circuit): Pin ini digunakan untuk komunikasi I2C, yang umum digunakan untuk menghubungkan sensor dan perangkat lain.

7) EN: Pin enable, digunakan untuk mengaktifkan board. Ketika pin ini diatur ke LOW, board akan mati.

8) RST: Pin reset, digunakan untuk me-reset mikrokontroler. Ketika pin ini diatur ke LOW, mikrokontroler akan di-reset.

9. Modul LGT8F328P

LGT8F328P LQFP32 MiniEVB adalah papan pengembangan ringkas yang dirancang untuk pembuatan prototipe cepat, menampilkan mikrokontroler LGT8F328P yang efisien dalam paket LQFP32 profil rendah, ideal untuk proyek tertanam dan tujuan pendidikan.



Gambar 2.10 Pin out Modul LGT8F328P

MiniEVB (Mini Evaluation Board) dirancang untuk memberikan platform yang mudah digunakan dalam membuat prototipe dan mengembangkan aplikasi dengan mikrokontroler LGT8F328P. Papan ini biasanya dilengkapi dengan komponen-komponen yang diperlukan seperti rangkaian catu daya, osilator kristal, rangkaian reset, dan antarmuka pemrograman, sehingga memudahkan dalam melakukan eksperimen dengan mikrokontroler tersebut. Mikrokontroler LGT8F328P kompatibel dengan lingkungan pengembangan Arduino, yang berarti Anda dapat menggunakan Arduino IDE dan pustaka-pustaka Arduino untuk memprogram mikrokontroler pada MiniEVB. Mikrokontroler serbaguna yang dilengkapi dengan pin input/output digital, saluran input analog, kemampuan modulasi lebar pulsa, dan antarmuka komunikasi UART, cocok untuk aplikasi sistem tertanam yang kompleks.

10. *Android*

Android, yang dikembangkan oleh Google dan diluncurkan pada tahun 2008, merupakan sistem operasi yang banyak digunakan untuk telepon pintar

dan tablet. Dikenal karena sifatnya yang open-source, sistem ini memungkinkan produsen untuk menyesuaikan perangkat agar sesuai dengan berbagai kebutuhan. Dengan basis pengguna global yang luas, Android membanggakan lebih dari 2 miliar pengguna aktif setiap bulan, menjadikannya platform seluler yang dominan dan pemain kunci dalam industri teknologi. (Imaduddin & Permana, 2018).

B. Penelitian Terdahulu

Studi ini tidak lepas dari penelitian-penelitian terdahulu yang pernah di lakukan sebagai bahan perbandingan dan kajian.

Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik Berbasis IOT Menggunakan Firebase Dan Aplikasi Android oleh (Widodo, Kholis, & Rakhmaati, 2022) , kesimpulan dari studi ini adalah :

Studi ini memperkenalkan alat pemantauan inovatif yang dirancang untuk mengukur tegangan, arus, daya, dan konsumsi energi secara akurat. Perangkat ini mentransmisikan data waktu nyata secara lancar melalui internet, sehingga memungkinkan pengguna untuk mengakses dan menganalisis parameter listrik vital dari jarak jauh. Kemajuan ini secara signifikan meningkatkan manajemen energi dan efisiensi sistem.

Pengujian sensor mengungkapkan kesalahan pengukuran tegangan rata-rata sebesar 0,35%, sedangkan kesalahan pengukuran arus ditemukan sekitar 0,45%, yang menunjukkan tingkat akurasi dan keandalan yang tinggi dalam kinerja sensor selama proses evaluasi.

Pengukuran daya sensor menunjukkan kesalahan rata-rata sekitar 6,6%, yang menunjukkan tingkat akurasi yang wajar untuk aplikasi umum. Sementara itu, pengujian keluaran energi yang dilakukan selama interval lima menit memberikan wawasan berharga tentang kinerja sistem, menyoroti area potensial untuk peningkatan efisiensi dan kebutuhan kalibrasi.

Secara keseluruhan , sensor ini dapat bekerja dengan baik dan menampilkan nilai yang dihasilkan cukup akurat.

Sistem Monitoring Daya Listrik dan Pengontrolan Perangkat Elektronik Berbasis *IOT* oleh (Rendy, 2020). Kesimpulan dari studi ini adalah :

Berdasarkan data hasil dapat disimpulkan :

1. Dengan gaya modern dan ramping, sistem ini secara efisien mengelola perangkat rumah tangga melalui NodeMCU dan Blynk, menyediakan kemampuan otomatisasi dan kendali jarak jauh yang mulus untuk kenyamanan sehari-hari.
2. PZEM 004T adalah perangkat andal untuk mengukur parameter listrik secara akurat.
3. Pengaturan WiFi dapat dengan mudah diubah tanpa perlu pemrograman ulang, memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan konfigurasi jaringan mereka dengan cepat dan efisien.
4. Sistem beroperasi secara efektif saat diberi daya oleh keluaran transformator 12 V, dilengkapi dengan modul penurun tegangan yang memastikan tegangan dikurangi dengan tepat, sehingga semua komponen dapat berfungsi mulus dan andal sesuai parameter yang ditentukan.

5. PZEM 004T menunjukkan bahwa lampu mengonsumsi daya sekitar 15,90 watt dalam kondisi pengoperasian saat ini, memberikan pengukuran akurat penggunaan energinya untuk tujuan pemantauan dan analisis efisiensi

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Adapun jenis penelitian yang dilakukan oleh penulis diantaranya penelitian lapangan (*Field Research)* dengan pengamatan dan kajian kepustakaan (*Literature Study)* dilakukan secara review mulai dari catatan kuliah, buku-buku perpustakaan serta browsing internet yang berhubungan dengan permasalahan tersebut.

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Sidenreng Rappang, Rappang, Sulawesi Selatan, sedangkan waktu penelitian ini dilakukan selama kurang lebih 2 bulan dimulai pada bulan mei – juli 2025.

C. Alat dan Bahan

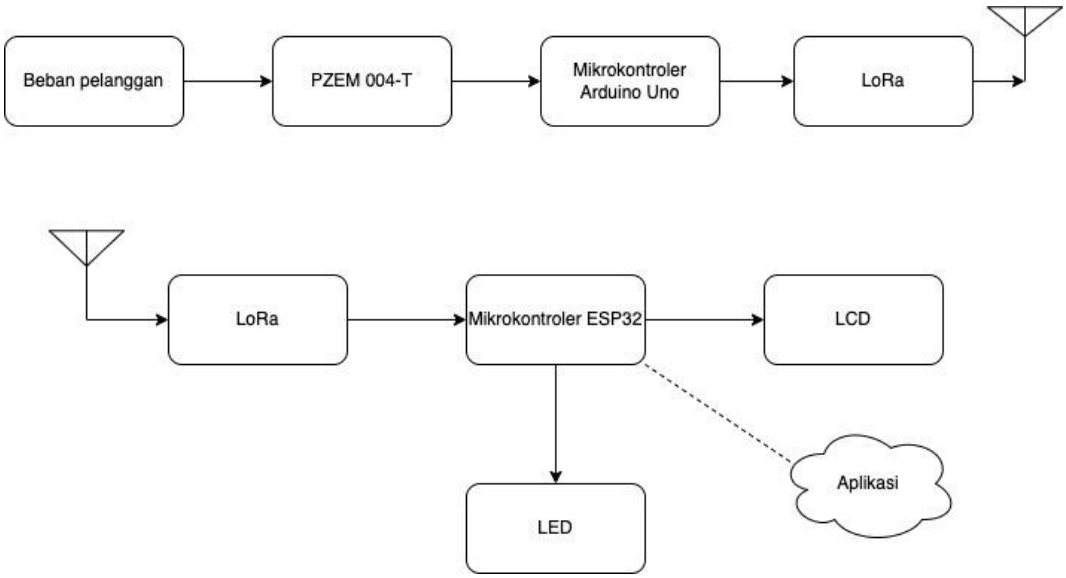
Peralatan dan bahan penelitian merupakan sumber daya fundamental yang sangat menunjang dan menunjang berbagai aktivitas dan investigasi penelitian:

Tabel 3.1 Alat dan Bahan Penelitian

NO	URAIAN
1	Laptop / PC
2	Smartphone
3	Mikrokontroler ESP32
4	LoRa Modul dan Antena
5	Mikrokontroler Arduino uno
6	Sensor PZEM-004T
7	Kabel Jumper
8	LED indikator
9	LCD 16x2
10	website

D. Rancangan Penelitian

Pada dasarnya alat yang dibuat dalam tugas akhir ini mengenai sistem ini terdiri dari 2 (dua) unsur utama yakni perangkat keras (*hardware*) berupa rangkaian mini sistem mirkrokontroler dan perangkat lunak (*software*) berupa website yang berfungsi sebagai media monitoring, sehingga rancangan sistemnya terdiri dari rancangan perangkat keras dan rancangan perangkat lunak.



Gambar 3.1 Diagram Blok Perancangan

Sistem ini terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu pengirim (transmitter) dan penerima (receiver). Pengirim berfungsi untuk membaca parameter listrik dari beban pelanggan, sedangkan penerima bertugas menerima data tersebut dan menampilkannya serta memberikan respon berupa kontrol jika diperlukan.

Pada bagian pengirim, beban pelanggan menjadi sumber data kelistrikan yang akan dimonitor. Parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, dan energi diukur menggunakan sensor PZEM-004T. Sensor ini kemudian mengirimkan data ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses. Mikrokontroler ESP32 bertindak sebagai pusat kendali yang mengelola data sensor dan mengirimkannya ke penerima melalui modul komunikasi LoRa.

Sementara itu, pada penerima, data yang dikirim melalui LoRa diterima oleh modul LoRa penerima dan diteruskan ke mikrokontroler ESP32 untuk diolah. Mikrokontroler ini kemudian menampilkan hasil monitoring ke layar LCD agar pengguna dapat memantau kondisi beban secara langsung. Selain itu, ESP32 juga terhubung dengan indikator LED yang dapat menyala berdasarkan data kondisi

tertentu, misalnya ketika terdeteksi adanya aliran arus listrik pada kWh meter tersebut. Mikrokontroler ESP32 pada penerima juga memiliki koneksi ke aplikasi monitoring berbasis web atau mobile melalui jaringan Wi-Fi.

E. Teknik Pengumpulan Data

Studi ini menggunakan proses pengumpulan data multitahap yang komprehensif untuk memastikan analisis menyeluruh dan hasil yang akurat. Awalnya, tinjauan pustaka yang ekstensif dilakukan untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam tentang teknologi komunikasi LoRa dan konsep *Internet of Things* (IoT), yang meletakkan dasar teoritis yang kuat untuk studi ini. Setelah ini, eksperimen praktis dilakukan dengan menguji pembacaan arus dan tegangan sensor *PZEM004T*; pengukuran ini secara hati-hati dibandingkan dengan yang diperoleh dari multimeter standar untuk memverifikasi keakuratan dan keandalan. Tahap ketiga difokuskan pada evaluasi jangkauan komunikasi jaringan LoRa, khususnya mengukur jarak antara Node Pelanggan dan Node Server untuk menentukan cakupan yang efektif dan stabilitas sinyal. Terakhir, studi ini menguji proses transmisi data dari Node Server ke situs web pemantauan daring, memastikan tampilan data waktu nyata dan kemampuan akses jarak jauh. Secara kolektif, tahapan ini memberikan pendekatan sistematis untuk memahami dan memvalidasi kinerja sistem IoT yang dibangun dengan teknologi LoRa.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi ini pada dasarnya terdiri dari dua bagian yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras terdiri dari Sensor arus dan tegangan PZEM 004T, mikrokontroler ESP 32, mikrokontroler Arduino UNO, LCD 20x4, modul komunikasi LoRa SX1276, modul power supply. Sedangkan Perangkat Lunaknya terdiri dari sketch Arduino, dan web server.

Sebagai ilustrasi penggunaan alat ini, modul LoRa dimanfaatkan untuk sistem pemantauan listrik jarak jauh, misalnya untuk mengukur tegangan dan arus pada suatu kwh meter/instalasi.

Pada sisi *End Device*, sensor tegangan dan sensor arus terhubung ke mikrokontroler yang dilengkapi dengan modul LoRa SX1278. Data hasil pengukuran, misalnya tegangan sebesar 220 volt dan arus sebesar 1,5 ampere, dikonversi ke dalam bentuk digital oleh mikrokontroler, kemudian dikemas menjadi payload data. Payload tersebut dapat disusun dalam bentuk byte array sederhana, misalnya 2 byte untuk nilai tegangan, 2 byte untuk nilai arus, serta 1 byte tambahan untuk status baterai perangkat, sehingga total ukuran data yang dikirim adalah 5 byte dalam satu paket transmisi.

Data ini kemudian dikirimkan dari *End Device* menuju *LoRa gateway* menggunakan sinyal LoRa pada frekuensi 433 MHz. Gateway akan meneruskan paket tersebut ke network server melalui jaringan internet. Selanjutnya, network server memproses data, melakukan validasi, dan mengirimkannya ke application

server untuk ditampilkan dalam bentuk informasi yang mudah dipahami pengguna, melalui dashboard web monitoring. Dengan kapasitas payload maksimum 255 byte pada komunikasi point-to-point, data sensor tegangan dan arus yang relatif kecil dapat ditransmisikan secara efisien tanpa kendala, sekaligus tetap menjaga konsumsi daya perangkat pada level yang rendah.

A. Perancangan perangkat keras (Hardware)

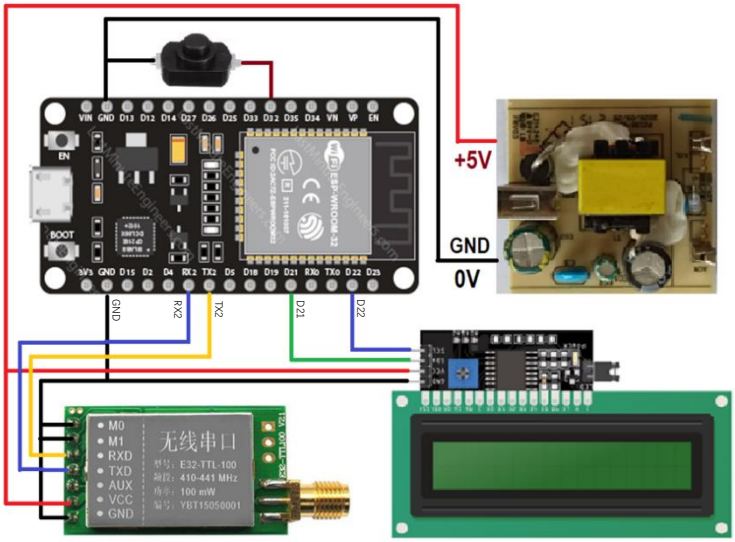
Pada perancangan perangkat keras pada studi ini terdapat ada dua Node dalam alat ini, yakni Node server dan Node pelanggan.

1. Perancangan Node Server

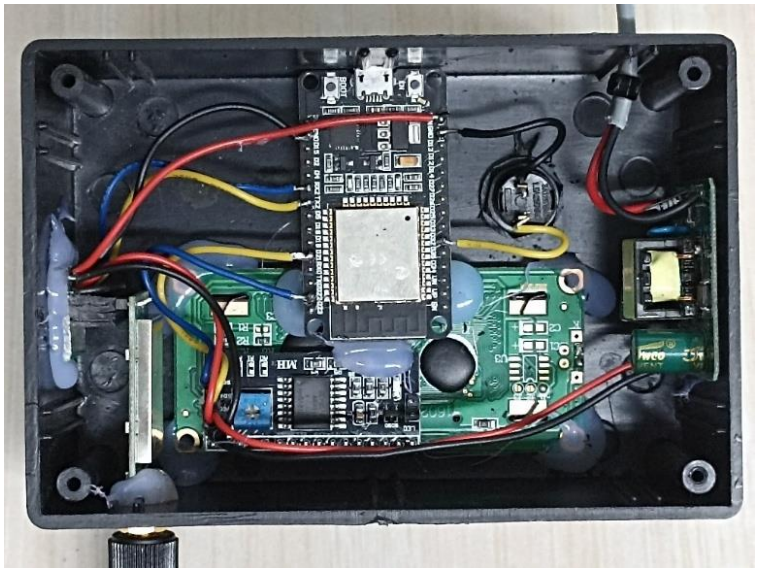
Node server merupakan komponen utama dalam sistem monitoring KWH meter tersegel yang berfungsi sebagai stasiun penghubung antara node pelanggan dan sistem monitoring berbasis web. Pada perancangan ini, node server menggunakan mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi dengan modul komunikasi LoRa sebagai media penerima data (Arus dan Tegangan) dari node pelanggan. Setelah menerima data (Arus dan Tegangan) penggunaan energi listrik dari node pelanggan melalui LoRa, ESP32 kemudian mengolah dan menampilkan data tersebut secara lokal pada LCD I2C, serta mengirimkan data ke platform monitoring berbasis web melalui koneksi WiFi

Dalam perangkaian Node server dimulai dari mikrokontroler ESP32, mikrokontroler ESP32 mempunyai input tegangan sebesar 5 V DC, maka dari itu pada Node Server dilengkapi dengan modul power supply ± 5V yang dihubungkan dengan pin VCC +5V ESP 32 dan pin GND. Setelah itu sebagai media komunikasi ESP32 dihubungkan dengan modul LoRa, pin yang digunakan yakni pin RX LoRa

dengan pin RX2 ESP32 , pin TX LoRa dengan pin TX2 ESP32 , kemudian untuk tegangan input dan grounding di gabungkan dengan modul power supply sesuai dengan inputanya. Untuk membantu mengetahui kondisi Node Server terhubung atau tidaknya dengan internet maupun Node pelanggan, Node Server dilengkapi dangan Modul LCD yang sudah di hubungkan dengan ICC/12C. Pin yang terhubung yaitu, pin D22 ESP32 dengan pin SCL ICC/12C dan pin D21 ESP32 dengan pin SDA ICC/12C. Setelah itu ada komponen pushbutton sebagai komponen yang membantu mengganti tampilan LCD dihubungkan dengan ESP32 pada pin D32 dan pin GND. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.4 Rangkaian *ESP32-LORA WebServer Untuk pihak PLN*



Gambar 4.5 Foto alat sisi PLN tampak bagian dalam



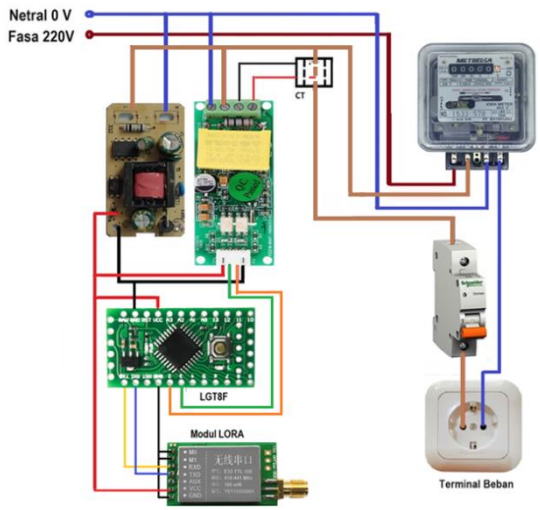
Gambar 4.6 Foto alat sisi PLN tampak bagian depan

2. Perancangan Node Pelanggan

Node pelanggan merupakan perangkat yang dipasang langsung pada KWH meter pelanggan dan berfungsi sebagai unit pencatat serta pengirim data konsumsi energi listrik. Pada sistem ini, node pelanggan dibangun menggunakan mikrokontroler Arduino Uno yang terintegrasi dengan modul sensor PZEM004T

untuk mengukur parameter listrik seperti tegangan, arus, daya aktif, dan energi listrik yang digunakan. Data yang diperoleh dari sensor kemudian diproses oleh Arduino dan dikirimkan secara nirkabel menggunakan modul komunikasi LoRa ke node server.

Sensor PZEM-004T dihubungkan ke Arduino Uno dengan pin VCC sensor ke 5V Arduino, pin GND ke GND Arduino, pin RX sensor ke pin digital 11 Arduino, dan pin TX sensor ke pin digital 12 Arduino, menggunakan komunikasi serial perangkat lunak (SoftwareSerial) untuk membaca data listrik seperti tegangan, arus, dan energi Modul LoRa dihubungkan menggunakan interface SPI, dengan pin NSS (CS) terhubung ke pin 10 Arduino, SCK ke pin 13, MOSI ke pin 11, MISO ke pin 12, DIO0 ke pin 2, dan RST ke pin 9, serta menggunakan tegangan 3.3V yang harus disesuaikan dengan arduino. LCD yang digunakan, seperti LCD 16x2 dengan modul I2C, dihubungkan ke pin SDA dan SCL Arduino pada pin A4 dan A5 untuk komunikasi I2C, sehingga memungkinkan tampilan data arus dan tegangan secara real-time.



Gambar 4.7 Rangkaian LGT8F-LORA-PZEM004T Untuk sisi pelanggan



Gambar 4.8 Foto alat sisi pelanggan tampak bagian dalam



Gambar 4.9 Foto alat sisi pelanggan tampak luar

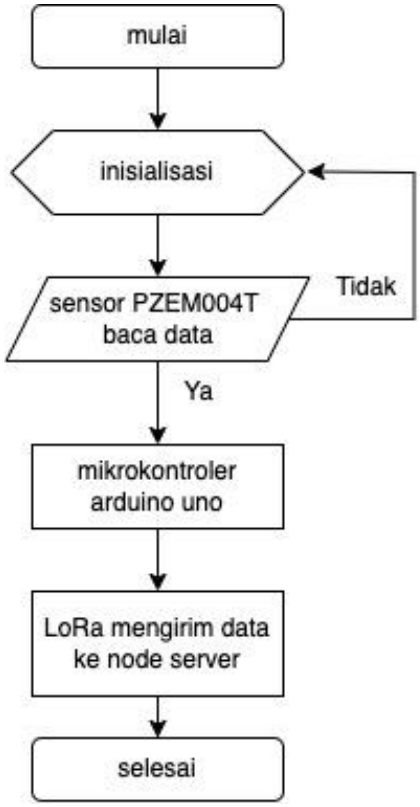
B. Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Pada perancangan perangkat lunak (*software*), terdapat beberapa hal yang akan dijabarkan, mulai dari diagram alur pemograman, pemograman setiap *Node*

yang diprogram melalui Arduino IDE, dan pemograman pembuatan *web monitoring* dan kontrol.

1. Diagram alur pemograman *Node* pelanggan

Berikut ini adalah alur pemograman *Node* pelanggan yang berfungsi membaca besaran listrik yang terdapat di pelanggan rumah tangga beserta yang memerintahkan untuk mengirim data ke node server menggunakan LoRa.



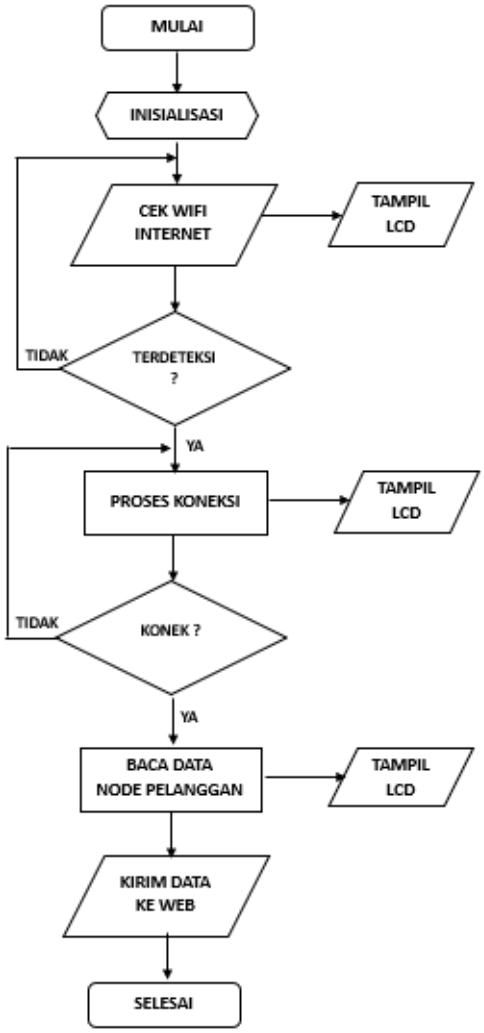
Gambar 4.10 *Flowchart* node pelanggan

Pada Gambar diatas alur pemograman dari *Node* pelanggan pada saat melakukan pembacaan data besaran listrik seperti tegangan, arus, dan pemakaian kWh pelanggan rumah tangga. Langkah pertama dimulai dangan *inisilisasi* setiap

komponen yang digunakan , selanjutnya proses pembacaan besaran listrik yang dilakukan oleh sensor PZEM004T, dan pada langkah ini terdapat pilihan, yang mana ada pilihan Ya/Tidak. Apabila " **Ya**" maka mikrokontroler akan memerintahkan mengirim data menggunakan komunikasi LoRa ke *Node* sisi PLN (*Server)*, dan apabila "**Tidak**" maka pembacaan arus dan tegangan pada KwH tersebut akan tetap menyala.

2. Diagram alur pemograman *Node Server*

Berikut ini adalah alur pemograman *Node Server* yang berfungsi sebagai penghubung antara *Node* pelanggan dengan web monitoring dan kontrol, oleh karena itu *Node Server* akan dihubungkan dengan *wifi* atau internet.



Gambar 4.11 *flowchart Node* server

Berdasarkan Gambar diatas dapat dijelaskan bahwa pada saat Node Server menerima hasil pembacaan data yang telah dikirim oleh Node pelanggan, langkah awal yang dilakukan adalah menyalakan sistem, kemudian melakukan inisialisasi pada setiap komponen yang digunakan. Setelah itu, sistem akan melakukan proses pencarian jaringan wifi untuk mengakses internet dan menampilkan hasilnya pada LCD. Jika terdapat jaringan wifi yang sudah diprogram, maka proses selanjutnya adalah connecting. Ketika sudah berhasil terhubung ke jaringan wifi yang tersedia,

LCD akan menampilkan deretan angka IP, lalu proses selanjutnya adalah melakukan sinkronisasi. Namun, jika proses pencarian wifi dan connecting tidak berhasil, maka sistem akan kembali ke langkah awal.

Tahapan berikutnya setelah Node Server berhasil terhubung ke internet adalah membaca dan menerima data yang dikirimkan oleh node pelanggan. Data hasil pembacaan ini dapat dilihat melalui layar LCD pada Node Server. Setelah proses pembacaan dan penerimaan data selesai, data tersebut dapat dikirimkan ke aplikasi web monitoring dan kontrol untuk pengelolaan lebih lanjut.

3. Pemograman *Node* sisi pelanggan

Pada pemograman *Node* pelanggan ini, menggunakan bahasa *C* yang diprogram melalui aplikasi *Arduino IDE*. Pada *node* pelanggan ada beberapa poin penting yang perlu diperhatikan dalam pemograman, seperti halnya menambahkan library komponen – komponen yang digunakan.

Program Arduino untuk sisi pelanggan

```
/*
LGT8F  UART-LoRa
TX    -> RXD
RX    -> TXD
5V    -> VCC
GND   -> GND
       PZEM-004T
D2    -> RX
D3    -> TX
5V    -> VCC
GND   -> GND
D4    -> LED
*/
```

- Menambahkan library

```
#include <PZEM004Tv30.h>
#include <Wire.h>
PZEM004Tv30 pzem(2,3); //D2->TX_PZEM, D3->RX_PZEM

#define LED 10
```

```
String stLED, CNum="C1", CRX, cnLED, cnRST;
String dataIn=""; //data dari Server yang diterima

unsigned int readingID = 0; //packet counter
int counter = 0;
String LoRaMessage = "";

float volt, arus, energi;
```

- Menginisialisasi modul lora

```
void startLoRA(){ //Initialize LoRa module
  Serial.begin(9600);
  delay(2000);
}

void bacaData(){
  volt = pzem.voltage();
  if(isnan(volt)) volt=0.0;
  arus = pzem.current();
  if((arus)<0.1) arus=0.00;
  energi = pzem.energy();
  stLED=(digitalRead(LED)==0? "OFF":"ON");
  delay(500);
}

void kirimData() {
  LoRaMessage = CNum+"&"+String(volt,0)+"#"+
                String(arus)+"$"+
                String(energi,3)+"*"+stLED+"~S";
  Serial.print(LoRaMessage); //Kirimkan data tanpa enter ke receiver
}
```

- Memulai program pengiriman data lora

```
void setup() {
  pinMode(LED, OUTPUT);
  digitalWrite(LED,LOW);
  startLoRA();
  bacaData();
}
void loop() {
  if(Serial.available()>0) {
     dataIn = Serial.readStringUntil('S');
     int pos1 = dataIn.indexOf('/');
     int pos2 = dataIn.indexOf('*');
     int pos3 = dataIn.indexOf('~');
     CRX = dataIn.substring(0, pos1);
```

```
      //cnLED= dataIn.substring(pos1+1, dataIn.length());
      cnLED= dataIn.substring(pos1+1,pos2);
      cnRST= dataIn.substring(pos2+1,pos3);
      if(CNum==CRX) {
         bacaData();
         kirimData();
         if(cnLED=="0") {
            stLED="OFF";
            for(byte i=0; i<3; i++) {
              digitalWrite(LED,1); delay(100);
              digitalWrite(LED,0); delay(100);
            }
          }
         else {
            stLED="ON";
            for(byte i=0; i<3; i++) {
              digitalWrite(LED,0); delay(100);
              digitalWrite(LED,1); delay(100);
            }
         }
         if(cnRST=="1") {
            pzem.resetEnergy(); //reset energy
            delay(500);
            cnRST="0";
         }
      }
    }
}
```

Fungsi startLoRA() digunakan untuk menginisialisasi modul LoRa dengan memulai komunikasi serial pada bitrate 9600 dan memberikan jeda selama dua detik. Fungsi bacaData() digunakan untuk membaca data dari sensor PZEM-004T, seperti tegangan (volt), arus (arus), dan energi (energi). Pada fungsi ini juga terdapat pemeriksaan menggunakan fungsi isnan() untuk memastikan data yang dibaca valid; jika tidak valid, maka nilai akan di-set ke nol.

4. Pemograman node sisi PLN

Sama seperti pemograman node pelanggan, pemograman *Node* sisi PLN ini juga menggunakan bahasa *C* yang diprogram melalui aplikasi *Arduino IDE*. Pada *node* sisi PLN ini langkah pertama ialah inisialisasi library, pin, dan variable. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa semua perangkat yang digunakan mempunyai library, pin koneksi, dan variable-variable yang digunakan untuk pembacaan arus dan tegangan.

Program Arduino untuk sisi PLN

```
/*
OLED      ESP32
SDA       D21
SCL       D22
Switch    D32

LoraUART  ESP32
TX        RX2
RX        TX2
AUX       D15
VCC       5V
GND       GND
*/
```

Menambahkan library

```
#include "Arduino.h"
#include <LoRa.h>
HardwareSerial loraSerial(2);

// Import Wi-Fi library
#include <WiFi.h>
#include "ESPAsyncWebServer.h"
#include <SPIFFS.h>

//Libraries for OLED Display
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
```

```
// Libraries to get time from NTP Server
#include <NTPClient.h>
#include <WiFiUdp.h>

//Switch pin
#define SW 32
```

Mendeklarasi wifi yang akan disambung ke node server

```
// Replace with your network credentials
const char* ssid     = "POCOF6FADHIL";
const char* password = "pokerface";

// Define NTP Client to get time
WiFiUDP ntpUDP;
NTPClient timeClient(ntpUDP);

// Variables to save date and time
String formattedDate, day, hour;
String timestamp;
int counter=0;
unsigned long TAwal=0;
unsigned long TAkir = 10000; //millidetik
```

memprogram waktu dan tanggal dengan Bahasa untuk web server

```
// Initialize variables to get and save LoRa data
String dataTX="", dataRX,CNum;
String tegangan, arus, energi, stLED;
String sukses= "LoRa Initializing OK!";
String gagal = "Starting LoRa failed!";
bool CSt=1, RSt=0;

// Create AsyncWebServer object on port 80
AsyncWebServer server(80);

String processor(const String& var){
  if(var == "V1"){ return tegangan; }
  else if(var == "A1"){ return arus; }
  else if(var == "E1"){ return energi; }
  else if(var == "L1"){ return stLED; }
  else if(var == "TIMESTAMP"){ return timestamp; }
  return String();
}
```

Menginisialisasi modul Lora

```
//Initialize LoRa module
void startLoRA(){
  loraSerial.begin(9600,SERIAL_8N1,16,17);
  while (!loraSerial && counter < 10) {
```

```
    Serial.print(".");
    counter++;
    delay(100);
  }
}

void connectWiFi(){
  // Connect to Wi-Fi network with SSID and password
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  // Print local IP address and start web server
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected.");
  Serial.println("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  displayIP();
}

// Function to get date and time from NTPClient
void getTimeStamp() {
  while(!timeClient.update()) {
    timeClient.forceUpdate();
  }
  // The formattedDate comes with the following format:
  // 2018-05-28T16:00:13Z
  // We need to extract date and time
  formattedDate = timeClient.getFormattedDate();
  //Serial.println(formattedDate);

  // Extract date
  int splitT = formattedDate.indexOf("T");
  day = formattedDate.substring(0, splitT);
  //Serial.println(day);
  // Extract time
          hour         =         formattedDate.substring(splitT+1,
formattedDate.length()-1);
  //Serial.println(hour);
  timestamp = day+"  "+hour;
}
```

Mengatur tampilan LCD pada node server

```
void displayIP() {
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Alamat WebServer");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(WiFi.localIP());
}

void displayData() {
  lcd.setCursor(0,0); lcd.print(F("Teg:     V L:   "));
  lcd.setCursor(5,0); lcd.print(tegangan);
  lcd.setCursor(13,0); lcd.print(stLED);
  lcd.setCursor(0,1); lcd.print(F("Arus:      A    "));
  lcd.setCursor(6,1); lcd.print(arus);
  //lcd.setCursor(0,1); lcd.print(F("E1:"));lcd.print(energi);
  //lcd.print(F(" kWh"));

}

//Initialize LCD display
void startLCD(){
  lcd.init(); lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0,0); lcd.print("LORA SENDER");
  delay(2000);
}

void setup() {
  // Initialize Serial Monitor
  Serial.begin(115200);
  pinMode(SW, INPUT_PULLUP);

  startLCD();
  startLoRA();
  connectWiFi();
```

Mengatur tampilan yang akan ditampilkan aplikasi web

```
  if(!SPIFFS.begin()){
      Serial.println("An  Error  has  occurred  while  mounting
SPIFFS");
    return;
  }
  // Route for root / web page
  server.on("/", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest *request){
      request->send(SPIFFS,  "/index.html",  String(),  false,
processor);
  });
  // Route to load style.css file
```

```
   server.on("/style.css",  HTTP_GET,  [](AsyncWebServerRequest
*request){
    request->send(SPIFFS, "/style.css", "text/css");
  });
   server.on("/bgimage.jpg", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest
*request){
    request->send(SPIFFS, "/bgimage.jpg", "image/jpg");
  });

//=========================              Customer             1
============================
   server.on("/tegangan",  HTTP_GET,  [](AsyncWebServerRequest
*request){
    request->send_P(200, "text/plain", tegangan.c_str());
  });
    server.on("/arus",    HTTP_GET,    [](AsyncWebServerRequest
*request){
    request->send_P(200, "text/plain", arus.c_str());
  });
    server.on("/energi",    HTTP_GET,    [](AsyncWebServerRequest
*request){
    request->send_P(200, "text/plain", energi.c_str());
  });
    server.on("/stLED",    HTTP_GET,    [](AsyncWebServerRequest
*request){
    request->send_P(200, "text/plain", stLED.c_str());
  });
  // Route to set CSt to HIGH
    server.on("/LedON",    HTTP_GET,    [](AsyncWebServerRequest
*request){
    CSt=1;
      request->send(SPIFFS,  "/index.html",  String(),  false,
processor);
  });
  // Route to set CSt to LOW
    server.on("/LedOFF",    HTTP_GET,    [](AsyncWebServerRequest
*request){
    CSt=0;
      request->send(SPIFFS,  "/index.html",  String(),  false,
processor);
  // Route to set RSt to HIGH
  });
    server.on("/RESET",    HTTP_GET,    [](AsyncWebServerRequest
*request){
    RSt=1;
```

```
      request->send(SPIFFS, "/index.html", String(), false,
processor);
  });

  // Start server
  server.begin();

  // Initialize a NTPClient to get time
  timeClient.begin();
  // Set offset time in seconds to adjust for your timezone, for
example:
  // GMT +1 = 3600
  // GMT +8 = 28800
  // GMT -1 = -3600
  // GMT 0 = 0
  timeClient.setTimeOffset(28800);
}
```

Memprogram untuk memerintah dari aplikasi web ke node server lalu ke node pelanggan

```
void kirimData() {
  dataTX = "C1/"+String(CSt)+"*"+String(RSt)+"~S";
  loraSerial.print(dataTX); //Kirimkan LoRa packet ke receiver
  Serial.println("Paket kirim : "+dataTX);
  delay(1500);
}
```

Data bacaan yang telah dikirim ke node server diteruskan ke web

```
// Read LoRa packet and get the sensor readings
void terimaData() {
  if(loraSerial.available()>0) {
    dataRX = loraSerial.readStringUntil('S'); // Read packet
    // dataRX.trim(); // remove whitespace
    // dataRX format: CNum&tegangan#current$energy*CSt~S
    // String example: C1&224#0.07$0.013*ON~
    Serial.println("Paket terima: "+dataRX+"\n");
    int pos1 = dataRX.indexOf('&');
    int pos2 = dataRX.indexOf('#');
    int pos3 = dataRX.indexOf('$');
    int pos4 = dataRX.indexOf('*');
    int pos5 = dataRX.indexOf('~');

    CNum = dataRX.substring(0, pos1);
    if(CNum=="C1") {
      tegangan = dataRX.substring(pos1+1, pos2);
      arus = dataRX.substring(pos2+1, pos3);
      energi  = dataRX.substring(pos3+1, pos4);
```

```
      stLED = dataRX.substring(pos4+1, pos5);
    }
    TAwal=millis();
  }
  if((millis()-TAwal)>TAkir) {
      tegangan = "000";
      arus = "0.00";
      energi  = "000";
      stLED = " NC";
  }
}

void loop() {
    kirimData();
    terimaData();
    getTimeStamp();
    if(digitalRead(SW)) displayIP();
    else displayData();
}
```

5. Pemograman Aplikasi Web Monitoring dan kontrol

Pada pemograman aplikasi Web Monitoring dan kontrol menggunakan index HTML, Adapun skrip pemograman index html sebagai berikut:

```
<!DOCTYPE HTML><html>
<head>
 <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
 <link rel="icon" href="data:,">
 <title>ESP32 FADIL</title>
 <link rel="stylesheet" type="text/css" href="style.css">
</head>
<body>

  <h2>MONITORING<br/> METER LISTRIK TERSEGEL</h2>
  <strong>Kondisi Terahir Diterima:<br/>
  <span id="timestamp" class="warna">%TIMESTAMP% </span></strong>

 <div class="content">
  <div class="card-grid">
   <div class="card">
   <p>
```

```
      Tegangan: <span id="tegangan" class="readings">%V1%</span><sup> Volt</sup> <br/>
      Arus: <span id="arus" class="readings">%A1%</span><sup> Amper</sup> <br/>
      Pemakaian: <span id="energi" class="readings">%E1%</span> <sup> kWh</sup><br/>
      LED: <span id="stLED" class="readings">%L1%</span> <br/>
        <a href="/LedON"><button class="button">ON</button></a>
        <a href="/LedOFF"><button class="button button2">OFF</button></a><br/>

      <span id="RSt" </span> <a href="/RESET"><button class="button">RESET kWH</button></a>


     </p>
    </div>
   </div>
  </div>


<script>
setInterval(updateValues, 500, "tegangan");
setInterval(updateValues, 500, "arus");
setInterval(updateValues, 500, "energi");
setInterval(updateValues, 500, "stLED");
setInterval(updateValues, 500, "timestamp");

function updateValues(value) {
 var xhttp = new XMLHttpRequest();
 xhttp.onreadystatechange = function() {
   if (this.readyState == 4 && this.status == 200) {
     document.getElementById(value).innerHTML = this.responseText;
   }
 };
 xhttp.open("GET", "/" + value, true);
 xhttp.send();
}
</script>
</body>
</html>
```

Pemograman yang pokok dalam web monitoring dan kontrol yaitu pada pendeskripsian untuk menerima data monitoring dan perintah kontrol, diatas adalah skrip pemogramakan untuk menjalankan perintah tersebut.untuk update data monitoring dan status pemakaian setiap waktunya,

```
body {
  margin: 0;
  font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;
  text-align: center;
  /*
  background-image: url('bgimage.jpg');
  background-repeat: no-repeat;
  background-size: cover;
  background-position: center;
  */
}

h2 {font-size: 1.5rem; }
p { font-size: 1.2rem; }

.units { font-size: 1.2rem; }
.readings { font-size: 1.5rem; color: red;}
.warna {color: blue; }
.button {
  display: inline-block;
  background-color: #b30000; //red color
  border: none;
  border-radius: 4px;
  color: white;
  padding: 10px 15px;
  text-decoration: none;
  font-size: 20px;
  margin: 2px;
  cursor: pointer;
}
.button2 { background-color: #364cf4; //blue color }
.button3 { background-color: green; //blue color }
.content { padding: 5px;}
.card-grid {
  max-width:350px;
```

```
  margin: 0 auto;
  display: grid;
  grid-gap: 2rem;
  grid-template-columns: repeat(auto-fit, minmax(200px, 1fr));
}
.card {
  /*background-color: white;*/
  box-shadow: 2px 2px 12px 1px rgba(140,140,140,.5);
}
```

Selanjutnya untuk pemograman diatas adalah variasi visual dari tampilan web, mulai dari font, warna tombol dan lain – lain, itulah beberapa bahasa program yang terdapat pada aplikasi web monitoring yang telah dibuat.

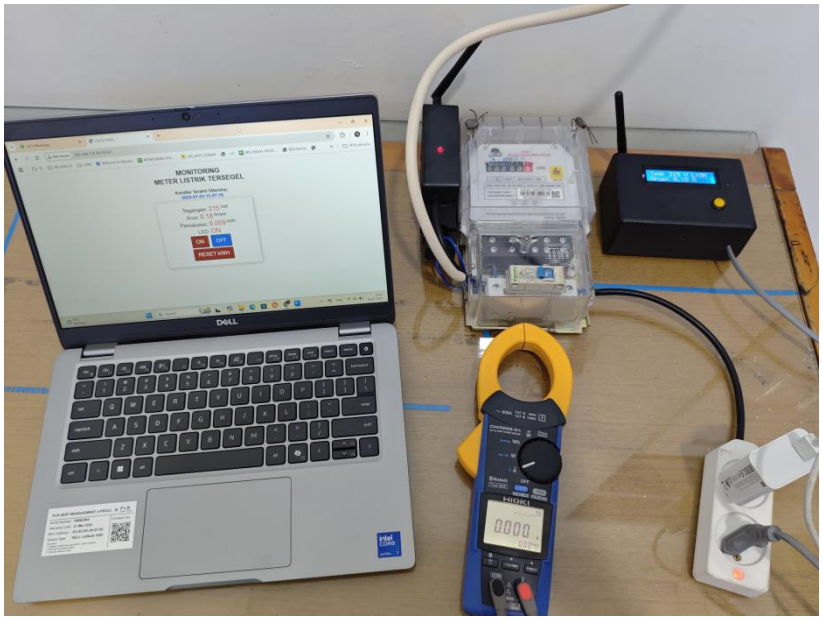
C. Pengujian sistem

Pada bagian ini membahas hasil pengujian dan analisa dari sistem *monitoring* Kwh meter tersegel pada pelanggan PLN menggunakan *LoRa* terintegrasi melalui website berbasis IOT, guna mengetahui kinerja ataupun kendala system yang telah dirancang. Pengujian dan analisa ini dilakukan, baik dari segi perangkat keras maupun perangkat lunak sampai dengan pengujian sistem alat secara simulasi di lapangan, tepatnya pada PLN ULP Rappang Jl. Sultan Hasanuddin No.2, Rappang, Sulawesi Selatan, Kabupaten Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan. Adapun bentuk pengujiannya yang dilakukan pada sistem monitoring dan kontrol meliputi pengujian monitoring KwH Meter, pengujian koneksi *LoRa*, pengujian web, dan pengujian keseluruhan.

1. Pengujian Sensor Tegangan pada web server

Pengujian ini dilakukan dengan cara mengukur tegangan yang diambil dari *node* pelanggan dan dapat dilihat juga pada node server dan web, kemudian dibantu

dengan alat ukur multimeter. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



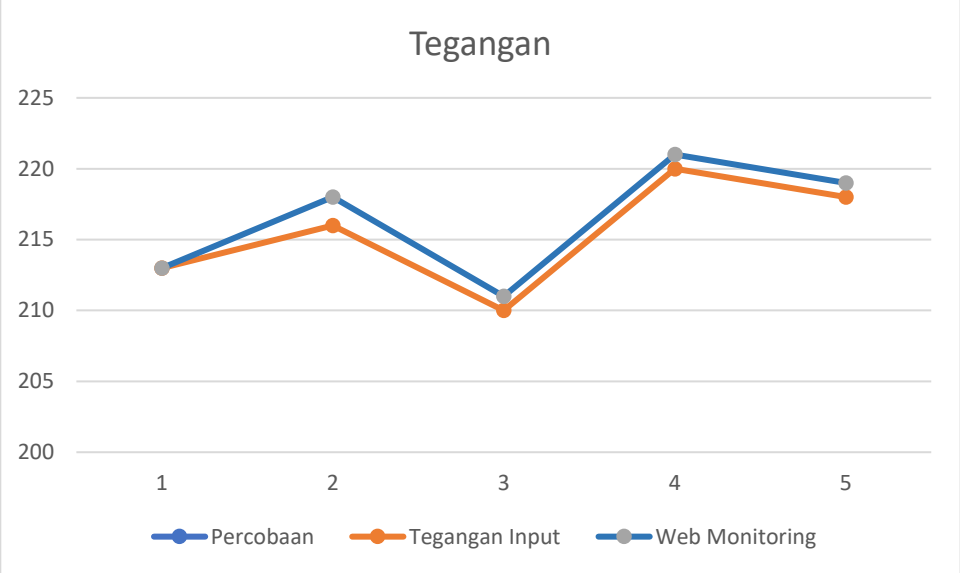
Gambar 4.12 pengujian tegangan kWh meter

Pada Gambar diatas Teknik pengujian tegangan kWh meter, didapatkan hasil yang diukur oleh mutlimeter akan dibandingkan dengan tampilan yang muncul pada aplikasi web. Teknik tersebut juga digunakan untuk kedua node pelanggan, adapun hasil pengukuran dapat dilihat pada table dibawah ini :

Tabel 4.2 Hasil data pengukuran tagangan kWh meter

Percobaan	Tegangan Input (V)	Web Monitoring (V)	Persentase Error Node Pel 1 (%)
1	213	213	0
2	216	218	0,9
3	210	211	0,4
4	220	221	0,4
5	218	219	0,4
Error Minimum			0

Error Maksimum	0,9
Rata-Rata Error	0,42



Gambar 4.13 grafik pengujian tegangan kWh

Berdasarkan tabel diatas, perhitungan persentase error dan presentase rata – rata error didapat pada persamaan berikut ini :

$$Error(\%) = \frac{(V\ Input - Voutput)}{V\ Input}\ x\ 100\% \quad \text{.....(1)}$$

$$Rata - rata\ Error(\%) = \frac{Jumlah\ Nilai\ Error}{Banyaknya\ Error\ yang\ Terjadi} \quad \text{.....(2)}$$

Dari hasil pengujian tegangan input diatas dilakukan 5 percobaan dengan hasil yang didapatkan error minimum yaitu 0%, error maksimum 0,9%, dan rata rata nilai error yaitu sebesar 0,42%. Sehingga dari hasil rata rata tersebut dapat dikatakan sensor tegangan dan tampilan yang muncul pada web server cukup bagus pada penggunaan monitoring kWh meter tersegel tersebut.

2. Pengujian Sensor arus pada web server

Pada pengujian sensor arus ini dengan cara mengukur arus yang mengalir pada beban node pelanggan, kemudian dibantu dengan alat ukur tang amper meter. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



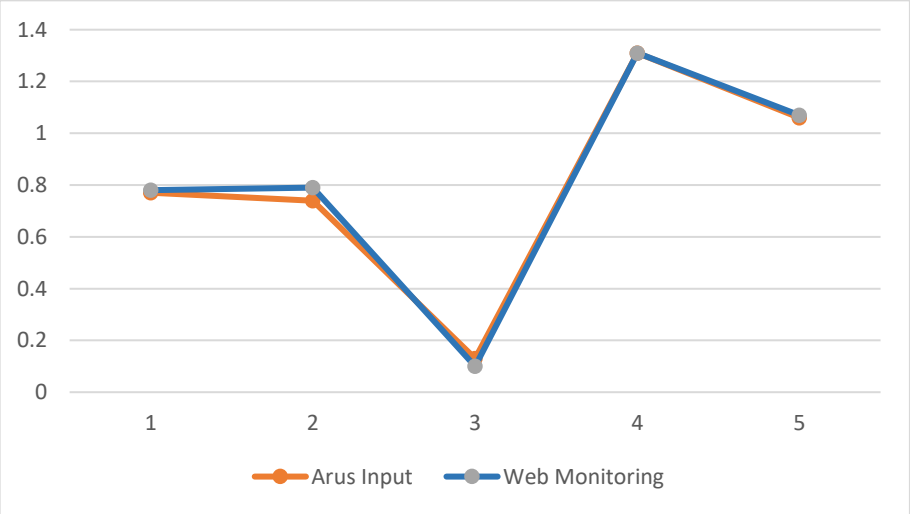
Gambar 4.14 pengujian arus kWh meter

Pada Gambar diatas Teknik pengujian arus Kwh meter, sama seperti pengukuran tegangan yang didapatkan hasil yang diukur oleh tang amper akan dibandingkan dengan tampilan yang muncul pada aplikasi web. Teknik tersebut digunakan pada node pelanggan, adapun hasil pengukuran dapat dilihat pada table dibawah ini :

Tabel 4.3 Hasil data pengukuran arus kWh meter

Percobaan	Arus Input (A)	Web Monitoring (A)	Persentase Error Node Pel 1 (%)
1	0,77	0,78	1,2

2	0,74	0,79	6,7
3	0,13	0,10	23
4	1,31	1,31	0
5	1,06	1,07	0,9
Error Minimum			0
Error Maksimum			23
Rata-Rata Error			6,36



Gambar 4.15 grafik pengujian arus kWh Meter

Berdasarkan tabel diatas, perhitungan persentase error dan presentase rata – rata error didapat pada persamaan berikut ini :

$$Error(\%) = \frac{(Arus\ Input - Arus\ output)}{Arus\ Input}\ x\ 100\% \quad \text{.....(1)}$$

$$Rata - rata\ Error(\%) = \frac{Jumlah\ Nilai\ Error}{Banyaknya\ Error\ yang\ Terjadi} \quad \text{.....(2)}$$

Dari hasil pengujian Arus diatas dilakukan 5 percobaan dengan hasil yang didapatkan error minimum yaitu 0%, error maksimum 23%, dan rata rata nilai error yaitu sebesar 6,36%. Error yang didapatkan relative besar karena arus tang terlalu kecil dan pada tampilan web server itu pembulatan dua angka di belakang koma,

sedangkan pada tang amper pembulatan tiga angka dibelakang koma. Sehingga dari hasil rata rata tersebut dapat dikatakan sensor Arus dan tampilan yang muncul pada web server kurang akurat pada penggunaan monitoring kWh meter tersegel. Dari kemampuan mengukur arus, tang amper tersebut lebih layak untuk digunakan guna melakukan penelitian yang lebih lanjut.

3. Pengujian Koneksi Lora

Pada pengujian ini menggunakan 2 LoRa sekaligus, 1 *LoRa Node Server* dan 1 *LoRa Node* Pelanggan, tujuan pengujian ini untuk mengetahui sejauh mana LoRa bisa saling terkoneksi serta berapa lama waktu yang diperlukan. Pengujian ini dilakukan dengan dua metode yaitu non line of sight (Ada hambatan) dan line of sight (Bebas hambatan). Pengujian pertama dilakukan di belakang Universitas Muhammadiyah Sidenreng Rappang, Maccorawalie, Kecamatan Panca Rijang, Kabupaten Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan 91651.

Pengujian pertama dilakukan dengan rincian sebagai berikut :

- Titik pengujian : 6 titik

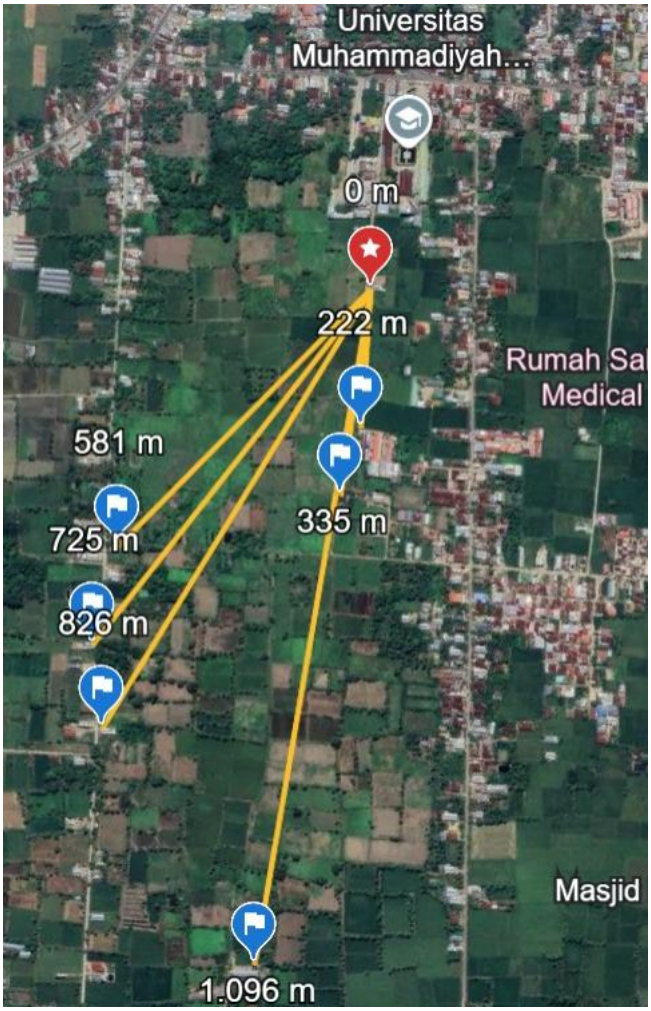
- Jarak : 0-1096 Meter

- Lokasi : Persawahan Rappang

- Rintangan/Halangan : Pohon, jarak tempuh, dan rumah sawah

- Tingkat keberhasilan : 66,6%

Untuk lebih jelasnya seperti yang terlihat pada Gambar 4.13.

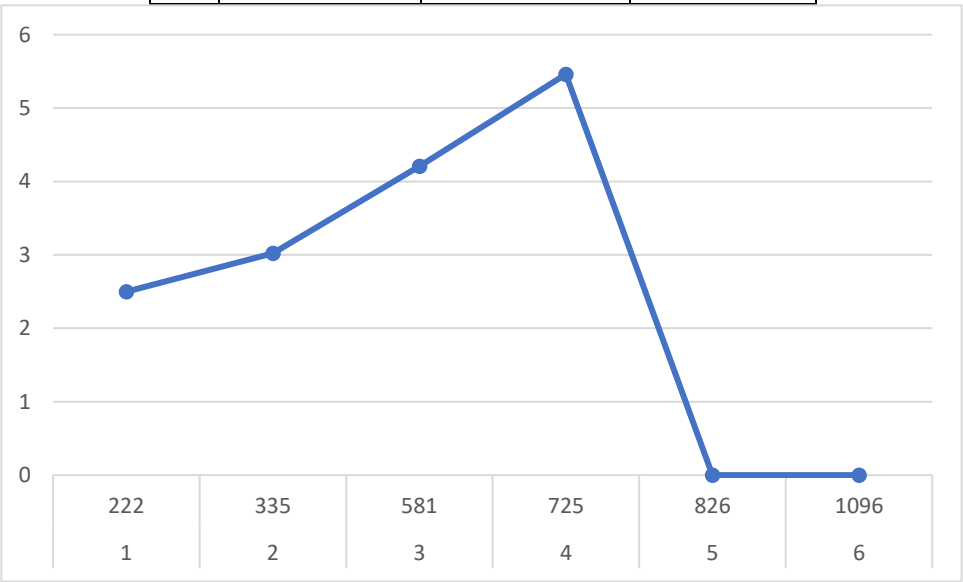


Gambar 4.16 Titik lokasi pengujian LoRa dengan *line of sight* (Belakang Universitas Muhammadiyah Sidenreng Rappang)

Pengujian koneksi *LoRa line of sight* dievaluasi di enam titik yang dipilih dengan cermat di dalam sawah yang hampir bebas hambatan. Dimulai dari posisi terdekat, sinyal dikirim dan diterima di setiap titik, secara bertahap bergerak menjauh. Proses ini berlanjut hingga koneksi akhirnya gagal di titik terjauh, memberikan wawasan berharga tentang jangkauan komunikasi dan keandalan pengaturan LoRa di lingkungan pertanian terbuka :

Tabel 4.4 Pengujian koneksi LoRa *line of sight*

No	Jarak (m)	Waktu Terkoneksi (detik)	Jangkauan (Y/T)
1	222	2,50	Y
2	335	3,02	Y
3	581	4,21	Y
4	725	5,46	Y
5	826	Tidak Respon	T
6	1096	Tidak Respon	T



Gambar 4.17 Grafik pengujian LoRa *line of sight*

Tabel 4.3 dan Gambar 4.14 dengan jelas menggambarkan bahwa ada hubungan proporsional langsung antara jarak dan waktu koneksi. Secara khusus, seiring bertambahnya jarak antara Node Server dan Pelanggan, waktu koneksi pun menjadi lebih lama. Tren ini menyoroti dampak pemisahan fisik pada kinerja jaringan. Selain itu, di area yang bebas halangan, kualitas koneksi menurun secara signifikan hingga melampaui jarak 1 kilometer, yang sering kali mengakibatkan kegagalan koneksi. Temuan ini menekankan pentingnya menjaga jarak yang lebih

pendek dalam pengaturan jaringan nirkabel untuk memastikan komunikasi yang andal.

Adapun pengujian lainnya yang dilakukan didaerah terbuka tanpa hambatan sama sekali atau bisa disebut dengan *line of sight.* Pengujian dilakukan di jalan pemotong sawah antara Pasar Rappang dan Kulo.

Pengujian kedua dilakukan dengan rincian sebagai berikut :

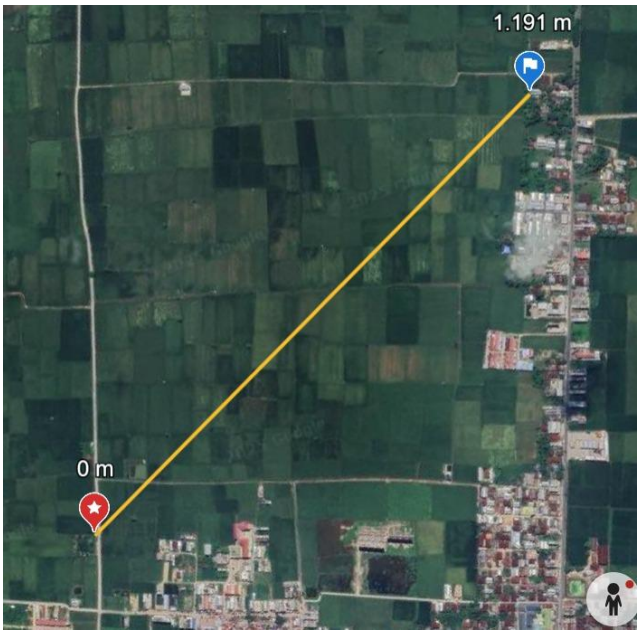
- Titik pengujian : 1 titik

- Jarak : 1.191 Meter

- Lokasi : Persawahan Rappang

- Rintangan/Halangan : Tidak ada

- Tingkat keberhasilan : 100%



Gambar 4.18 Titik Lokasi pengujian koneksi *LoRa line of sight* (Jalan pemotong sawah Pasar Rappang dan Kulo)

Pengujian ini hanya dilakukan di 1 titik dikarekan sudah tidak ada jaringan listrik di pertengahan sawah. Adapun data yang diambil pada pengujian ini dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.5 Hasil pengukuran koneksi lora *line of sight* (tanpa hambatan)

No	Jarak (m)	Waktu Terkoneksi (detik)	Jangkauan (Y/T)
1	1.191	6.21	Y



Gambar 4.19 Pengujian koneksi *LoRa line of sight* pada jarak 1.191 m

Berdasarkan pada Tabel 4.4 serta Gambar 4.16 dapat dilihat ternyata tidak hanya jarak dan waktu yang mempengaruhi koneksinya antara dua *Node*, tetapi penghalang atau hambatan rambatan sinyal juga mempengaruhi. Dikarenakan pada area bebas hambatan *Node Server* dan *Node* Pelanggan dapat terkoneksi lebih dari

satu kilometer, serta kinerja pengiriman perintah dan informasi tetap berjalan dengan sangat baik.

Dalam penilaian mendatang, peneliti akan menguji kinerja konektivitas LoRa *non line of sight* dalam lingkungan yang padat penduduk. Pengujian akan dilakukan di empat lokasi yang dipilih secara strategis, mulai dari titik terdekat hingga terjauh, untuk mengevaluasi keandalan dan jangkauan sinyal secara menyeluruh dalam kondisi yang menantang :

Pengujian ketiga dilakukan dengan rincian sebagai berikut :

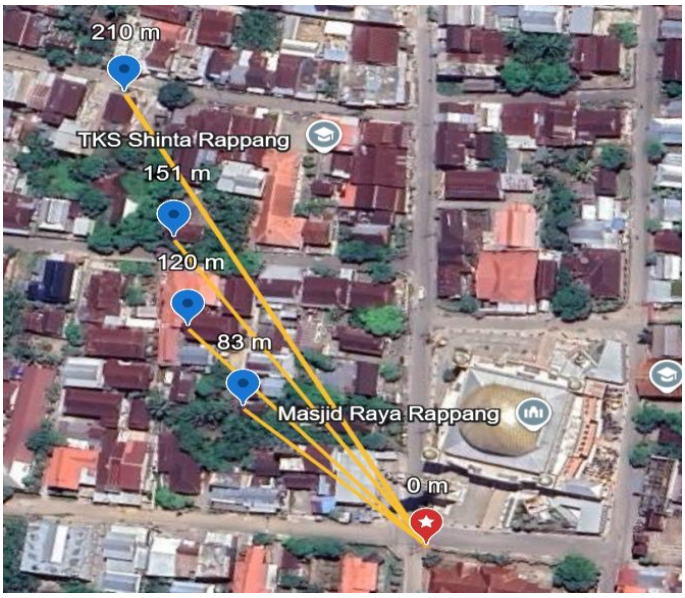
- Titik pengujian : 4 titik

- Jarak : 0-210 meter

- Lokasi : Kota Rappang

- Rintangan/Halangan : Bangunan dan Pepohonan

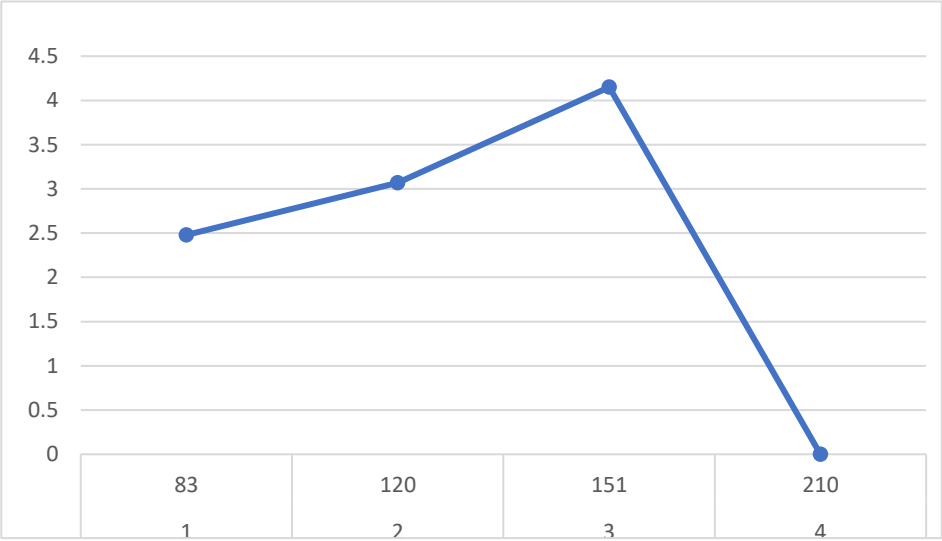
- Tingkat keberhasilan : 75%



Gambar 4.20 Titik lokasi pengujian LoRa *non line of sight*

Tabel 4.6 hasil pengujian koneksi LoRa *non line of sight*

No	Jarak (m)	Waktu Terkoneksi (detik)	Jangkauan (Y/T)
1	83	2,48	Y
2	120	3,07	Y
3	151	4,15	Y
4	210	Tidak Respon	T



Gambar 4.21 Grafik pengujian LoRa non line of sight

Perambatan gelombang dalam sistem komunikasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, terutama kehilangan jalur ruang bebas dan redaman terestrial. Seiring bertambahnya jarak antara simpul pengirim dan penerima, efek ini menjadi lebih jelas, yang menyebabkan degradasi sinyal yang lebih besar. Akibatnya, kekuatan sinyal berkurang, yang mengakibatkan tingkat redaman yang lebih tinggi. Kehilangan yang meningkat ini menyebabkan waktu koneksi yang lebih lama dan efisiensi transfer data yang berkurang, yang menyoroti pentingnya meminimalkan jarak dan mengoptimalkan kondisi lingkungan untuk memastikan komunikasi yang

andal dan efisien antara simpul pelanggan dan server.

Perambatan gelombang dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan dan fisik, termasuk kehilangan ruang bebas, redaman permukaan bumi, dan kondisi atmosfer seperti hujan dan kabut. Saat sinyal bergerak dalam jarak yang lebih jauh, redaman secara alami meningkat, yang menyebabkan melemahnya kekuatan sinyal. Hal ini mengakibatkan waktu koneksi yang lebih lama dan potensi gangguan antara perangkat pelanggan dan node server. Selain itu, faktor lingkungan seperti hujan lebat atau kabut tebal dapat menurunkan kualitas sinyal secara signifikan, yang menyebabkan peningkatan kehilangan data dan berkurangnya keandalan komunikasi. Memahami pengaruh ini sangat penting untuk mengoptimalkan kinerja jaringan dan memastikan konektivitas yang konsisten di berbagai kondisi.

4. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pada pengujian keseluruhan sistem monitoring listrik pelanggan pada KwH meter tersegel berbasis *LoRa* dengan aplikasi web, bertujuan untuk membuktikan secara nyata bahwa alat yang dirancang mampu memonitor kWh meter pelanggan secara jarak jauh. Dengan lokasi pengujian web server berada pada kantor PLN ULP Rappang Jl. Sultan Hasanuddin No.2, Rappang, Sulawesi Selatan, Kabupaten Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan, sebagai pemantauan pelanggan dengan kWh meter tersegel.

Pengujian Sistem Keseluruhan pertama dilakukan dengan titik yang berbeda-beda disekitar PLN ULP Rappang dengan rincian sebagai berikut :

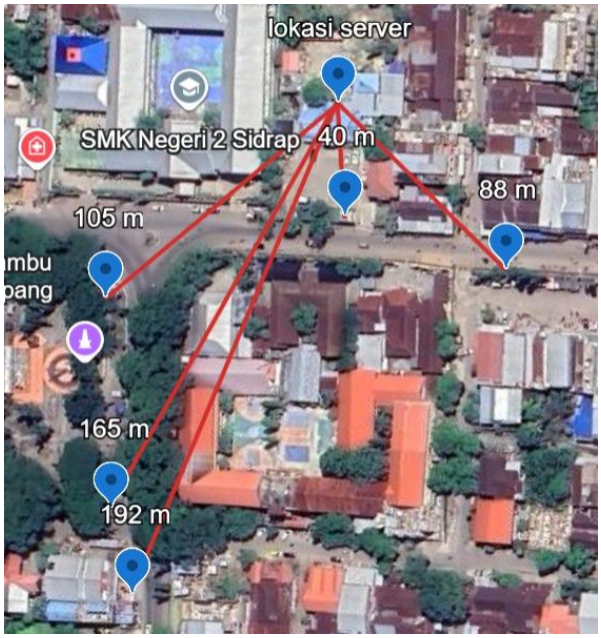
- Titik pengujian : 5 titik

- Jarak : 0-192 meter

- Lokasi : PLN ULP Rappang

- Rintangan/Halangan : Bangunan,Tower,Tiang Listrik,Pohon,Sinyal, Dll

- Tingkat keberhasilan : 75%

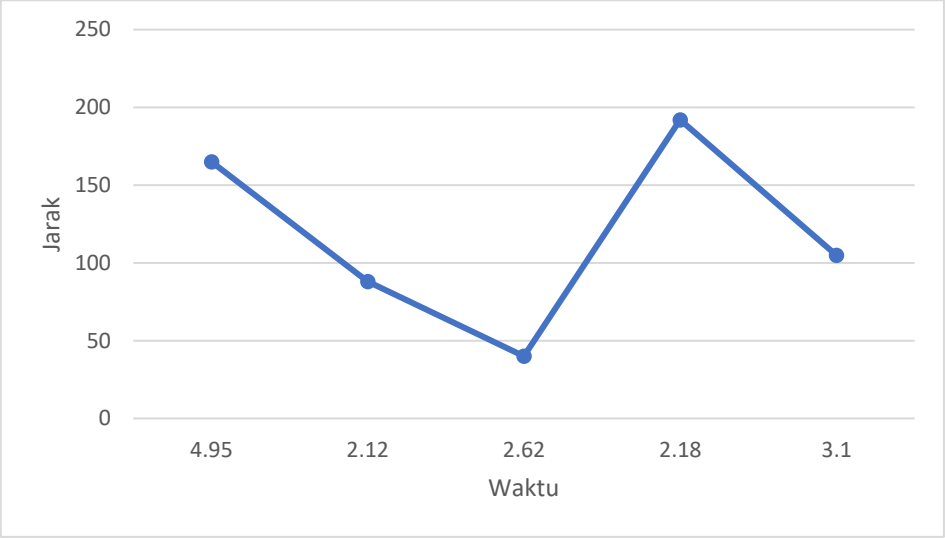


Gambar 4.22 Titik lokasi pengujian sistem dari node server ke node pelanggan

Pada gambar diatas dapat dilihat jarak dari pelanggan yang merupakan titik uji jangkauan dengan jarak rumah yang juga berbeda untuk menjadi perbandingan waktu tempuh data yang diterima oleh modul komunikasi lora dan dengan menggunakan tabel dibawah untuk pengujian dan pengambilan data.

Tabel 4.7 Hasil data pengujian sistem keseluruhan

Percobaan	Jarak (meter)	Beban pelanggan (A)	Waktu penerimaan data sisi PLN (detik)	Jangkauan (Y/T)
1	40	0,10	2,62	Y
2	88	0,10	2,12	Y
3	105	0,10	3,1	Y
4	165	0,10	4,95	Y
5	192	0,10	2,18	Y



Gambar 4.23 grafik pengujian jarak tempuh pelanggan

Dapat dilihat pada tabel diatas merupakan hasil dari pengujian yang diperoleh pada web monitoring serta hasil jangkauan jarak yang dapat ditempuh komunikasi lora yaitu pada jarak sekitar 165 meter diperoleh waktu tempuh 4,95 detik lebih lama dibandingkan dengan jarak 88 meter dengan waktu 2,12 detik. Salah satu faktor dari waktu tempuh yang berbeda dikarenakan terdapat hambatan hambatan seperti pohon, tower komunikasi, Sinyal, dan rumah yang tidak memungkinkan modul komunikasi lora untuk line of sight, adapun faktor lainnya

yaitu kualitas jaringan pada saat penggunaan web tersebut kurang baik sehingga terjadi delay beberapa detik hingga muncul pada web server.

Pengujian Sistem Keseluruhan kedua dilakukan sekaligus di 3 jalan disekitar PLN ULP Rappang dengan rincian sebagai berikut :

- **Titik pengujian :** 15 titik
- **Jarak :** 0-301 meter
- **Lokasi :** PLN ULP Rappang
- **Rintangan/Halangan :** Bangunan,Tower,Tiang Listrik,Pohon,Sinyal, Dll
- **Tingkat keberhasilan :** 86%



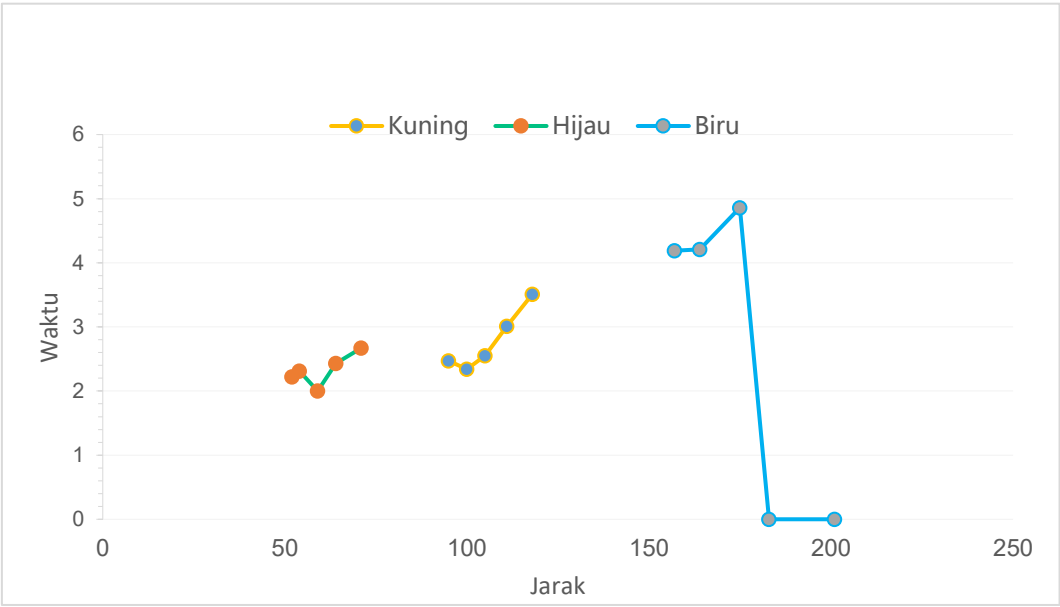
Gambar 4.24 Titik lokasi pengujian sistem keseluruhan di 3 jalan sekitar PLN ULP Rappang

Tabel 4.8 Hasil data pengujian sistem keseluruhan disekitar 3 jalan

Percobaan	Jarak (meter)	Beban pelanggan (A)	Waktu penerimaan data sisi PLN (detik)	Jangkauan (Y/T)
1	95	1,51	2,47	Y
2	100	2,11	2,34	Y
3	105	0,54	2,55	Y
4	111	0,88	3,01	Y
5	118	1,20	3,51	Y
6	52	2,22	2,22	Y
7	54	3,10	2,31	Y
8	59	2,13	2,00	Y
9	64	2,56	2,43	Y
10	71	1,26	2,67	Y
11	157	1,42	4,19	Y
12	164	1,84	4,21	Y
13	175	1,52	4,86	Y
14	183	Tidak Respon	Tidak Respon	T
15	201	Tidak Respon	Tidak Respon	T



Gambar 4.25 Tampilan pada Web Server Monitoring



Gambar 4.26 Grafik pengujian jarak dan waktu tempuh LoRa ke Server

Dapat dilihat pada tabel diatas merupakan hasil dari pengujian yang diperoleh pada web monitoring serta hasil jangkauan jarak yang dapat ditempuh komunikasi lora bahwasanya semakin jauh jarak antara perangkat dan server atau router, semakin lambat jaringan terasa karena sinyal harus menempuh jarak lebih jauh dan mengalami lebih banyak pelemahan atau gangguan, yang menyebabkan peningkatan waktu tunda atau latensi. Salah satu faktor dari waktu tempuh yang berbeda dikarenakan terdapat hambatan hambatan seperti pohon, tower komunikasi, Sinyal, dan rumah yang tidak memungkinkan modul komunikasi lora untuk line of sight, adapun faktor lainnya yaitu kualitas jaringan pada saat penggunaan web tersebut kurang baik sehingga terjadi delay beberapa detik hingga muncul pada web server.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan alat sistem *monitoring* kWh meter tersegel pada pelanggan PLN menggunakan *LoRa* dengan aplikasi *web* berbasis IoT yang telah dirancang dapat diambil kesimpulan bahwasanya, alat tersebut dapat memonitoring dengan cepat dalam jarak cukup jauh, mulai dari jarak ± 50 m hingga ± 200 m pada kondisi *non line of sight* atau dalam perumahan yang padat penduduk , pada kondisi *line of sight* atau dalam kondisi ruang terbuka dengan minim penghalang mampu memonitoring dengan jarak ± 500 m hingga ± 1,1 Km. Sedangkan dalam percobaan pengukuran jarak, terlihat bahwa waktu koneksi cenderung meningkat seiring bertambahnya jarak dari 20 meter hingga 180 meter. Semakin besar jaraknya, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk membangun koneksi. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti redaman terestrial dan redaman ruang bebas (Free Space Path Loss).

Hasil pengujian dari sistem yang telah dibuat ini dapat mendapatkan hasil yang baik, karena dapat dilhat hasil pengukuran dari alat tang amper tidak terpaut jauh dari tampilan pada web server. Jadi alat yang telah di buat tersebut mampu memonitoring pemakaian pada kWh meter tersegel pelanggan dan mampu mencatat pemakaian apabila terjadi pencurian listrik.

B. Saran

Dengan gaya yang jelas dan praktis, penulis memberikan saran-saran berharga yang ditujukan untuk membimbing para pengembang ke arah memaksimalkan potensi penuh penelitian dan berupaya mencapai keunggulan dan kesempurnaan dalam pekerjaan mereka:

1. Untuk pengembang selanjutnya, dapat mengganti modul *LoRa* dan antena yang digunakan, agar jarak jangkauannya dapat lebih jauh lagi.
2. Alat ini lebih baik jika digunakan secara line of sight atau node server tersebut dipasang pada tempat yang tinggi agar tidak banyak hambatan yang membutuhkan waktu pengiriman.
3. Kemudian pada web server tampilan yang dihasilkan dibuat lebih menarik dan menambah fitur login agar keamanan data dari pelanggan dapat terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

Aldi Razor. (2020). Modul Relay Arduino: Pengertian, Gambar, Skema, dan Lainnya. Diperoleh dari: https://www.aldyrazor.com/2020/05/modul-relay-arduino.html. (Diakses 27 Mei 2023).

Iqbal, M. (2022). Pengenalan *LPWAN, LoRa, NB-IoT*. Diperoleh dari: https://miqbal.staff.telkomuniversity.ac.id/pengenalan-lpwan-lora-nb-iot. (Diakses 12 Mei 2023).

Iqbal, M. (2022). Pengertian Mikrokontroler ESP32. Diperoleh dari: https://miqbal.staff.telkomuniversity.ac.id/mikrokontroler-esp32. (Diakses 12 Mei 2023).

NN Digital. (2019). Mengenal *PZEM004T* Modul Elekronik Untuk Alat Pengukuran Listrik. Diperoleh dari: https://www.nn-digital.com/blog/2019/07/10/mengenal-pzem-004t-modul-elektronik-untuk-alat-pengukuran-listrik. (Diakses 13 Mei 2023).

Nurwarsito, H., Suga, M.I. (2021). Sistem *Monitoring* KWH Meter Berbasis Modul Komunikasi *LoRa*. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer. 5*(4):1257-1266

T. Nusa, "Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Secara Real Time Berbasis Mikrokontroler", *E-Journal Tek. Elektro Dan Komputer*., vol. 4, no. 5, pp. 19–26, 2015

Rendy, F. (2020, Desember 01). Sistem Monitoring Daya Listrik Dan Pengontrolan Perangkat Elektronik Berbasis IOT. Sistem Monitoring Daya Listrik Dan Pengontrolan Perangkat Elektronik Berbasis IOT.

Santoso, H. (2018). Montster Arduino 3. Elangsakti.

Sunawar, A., & Daryanto. (2022). Teknik Pengerjaan Listrik. Bumi Aksara.

Taufik. (2021). Sistem Monitoring dan Kontrol Penerangan Jalan Umum Menggunakan Jaringan Komunikasi LoRa Berbasis Internet Of Things(IoT). Tugas Akhir. Universitas Mataram.

Wicaksono, M. F. (2017). Aplikasi Arduino Dan Sensor. Bi Obses 2.

Widodo, A., Kholis, N., & Rakhmaati, L. (2022, Januari 06). Rancang Bangun Alat Monitoring Data Listrik Berbasis IOT Menggunakan Firebase Dan Aplikasi Android. Rancang Bangun ALat Monitoring Data Listrik Berbasis IOT Menggunakan Firebase Dan Aplikasi Android, 11(1).