

Rancang Bangun Sistem Telemetri Pengukuran Energi Listrik Menggunakan LORA

Wasis Waskito Adi^{*1}, Pujiyanto²

^{1,2} Politeknik Energi dan Mineral Akamigas

Email: wasiswa@gmail.com¹, pujiyanto1968@gmail.com²

Abstrak

LoRa adalah teknologi wireless yang menawarkan pengiriman data jarak jauh, daya rendah, dan aman untuk aplikasi M2M dan IoT. Sistem pengiriman data LoRa ini didasarkan pada modulasi **Chirp Spread Spectrum (CSS)**, yang memiliki karakteristik daya rendah seperti modulasi FSK tetapi dapat digunakan untuk komunikasi jarak jauh. LoRa dapat digunakan untuk menghubungkan sensor, gateway, mesin, perangkat, hewan, orang, dll. secara nirkabel ke cloud. Kendala pengukuran jarak jauh saat ini salah satu kendalanya adalah ketersediaan koneksi data seperti internet apalagi ketika lokasinya sulit terjangkau. Untuk mengatasi kendala internet pada pengukuran sistem jarak jauh pada penelitian kali ini akan memberikan solusi bagaimana melakukan pengukuran energi listrik secara remote menggunakan LORA. Pada proposal ini akan dibahas bagaimana sebuah parameter energi listrik seperti tegangan, arus, frekuensi, cos phi, daya, dan energi akan dibaca oleh sensor PZEM, kemudian data sensor akan dibaca oleh sebuah controller, selanjutnya kontroler akan mengirim data tersebut menggunakan lora ke node gateway. data pengukuran yang ada di node gateway secara otomatis akan dikirim menggunakan internet ke cloud server.

Keyword : LORA, IOT, PZEM

Abstract

LoRa is a wireless technology that offers long distance, low power, and secure data delivery for M2M and IoT applications. This LoRa data transmission system is based on Chirp Spread Spectrum (CSS) modulation, which has low power characteristics like FSK modulation but can be used for long distance communication. LoRa can be used to connect sensors, gateways, machines, devices, animals, people, etc. wirelessly to the cloud. Currently, one of the obstacles to remote measurement is the availability of a data connection such as the internet, especially when the location is difficult to reach. To overcome internet constraints on remote system measurements, this research will provide a solution for how to measure electrical energy remotely using LORA. This proposal will discuss how electrical energy parameters such as voltage, current, frequency, cos phi, power, and energy will be read by the PZEM sensor, then sensor data will be read by a controller, then the controller will send the data using lora to the gateway node. measurement data in the gateway node will automatically be sent using the internet to the cloud server.

Keyword : LORA, IOT, PZEM

PENDAHULUAN

Berkembangnya teknologi Internet of Things (IoT) adalah Mempercepat perkembangan teknologi informasi, Namun, salah satu tantangan terbesar IoT adalah sistem pengiriman data secara Real time, terutama bagaimana cara mengirimkan data secara jarak jauh khususnya di daerah yang sangat minim koneksi internetnya. Solusi untuk sistem pengukuran jarak jauh menggunakan perangkat IoT secara real-time adalah menggunakan teknologi LORA karena LoRa dapat menawarkan konsumsi daya yang rendah dan jarak jauh sekitar 15 km. dan keandalan yang tinggi.

LoRa adalah sistem komunikasi data LPWAN (Low Power Area Network) memiliki kemampuan untuk mengirimkan data dalam jarak yang jauh dengan daya yang rendah. dan sistem arsitektur yang digunakan dalam LORA biasa disebut dengan LPWAN dan salah satu device yang bisa digunakan dalam node gateway lora menggunakan Raspberry Pi 3b+.

Sistem Long Range (LoRa) biasanya memproses semua tugas komputasi di server pusat LoRa dari jarak jauh, yang membawa latensi besar ke aplikasi Internet of Things (IoT) salah satu solusinya untuk mengatasi

masalah latensi dari sistem ini adalah menggunakan edge computing. Edge computing merupakan suatu proses komputasi yang dilakukan untuk memproses data IOT dengan membuat penyimpanan data sedekat mungkin dengan sumber data.

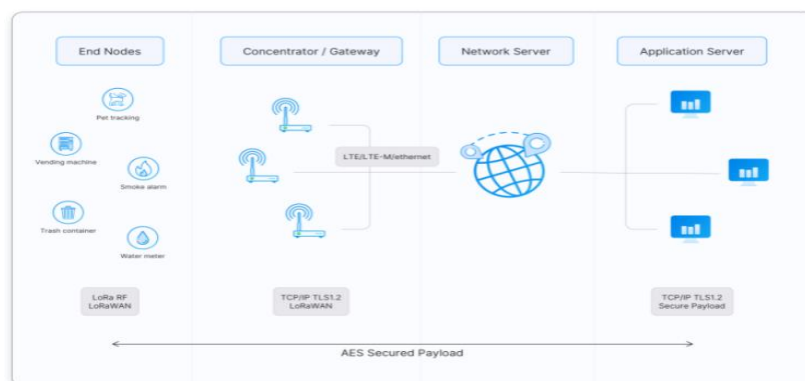
Pada proposal penelitian ini akan dibahas mengenai bagaimana merancang dan membuat sistem telemetri untuk monitoring penggunaan energi di daerah yang sulit dijangkau oleh internet menggunakan LORA. Pada proposal penelitian ini akan menggunakan sensor PZEM untuk membaca parameter energi listrik, kemudian untuk sistem gateway LORA menggunakan ESP32 yang nantinya data bisa diakses secara online melalui website atau web mobile.

LORA

LoRa adalah teknologi nirkabel yang menawarkan transmisi data jarak jauh, daya rendah, dan aman untuk aplikasi M2M dan IoT. LoRa didasarkan pada modulasi spektrum penyebaran kicauan, yang memiliki karakteristik daya rendah seperti modulasi FSK tetapi dapat digunakan untuk komunikasi jarak jauh. LoRa dapat digunakan untuk menghubungkan sensor, gateway, mesin, perangkat, hewan, orang, dll. secara nirkabel ke cloud.

LoRa Technologies beroperasi pada pita frekuensi yang berbeda di berbagai wilayah: Di Amerika Serikat ia beroperasi pada pita 915 MHz, di Eropa ia beroperasi pada pita 868 MHz dan di Asia ia beroperasi pada pita 865 hingga 867 MHz, 920 hingga 923 MHz. Klik di sini untuk mempelajari lebih lanjut tentang pita frekuensi LoRa.

Teknologi LoRa diciptakan oleh perusahaan Prancis bernama Cycleo yang kemudian diakuisi oleh Semtech pada tahun 2012. Semtech adalah anggota pendiri Aliansi LoRa yang sekarang menjadi badan pengatur Teknologi LoRa. Aliansi LoRa adalah salah satu aliansi teknologi yang tumbuh paling cepat. Asosiasi nirlaba ini terdiri dari lebih dari 500 perusahaan anggota, berkomitmen untuk memungkinkan penyebaran skala besar Jaringan Area Luas Rendah (LPWAN) IoT melalui pengembangan dan promosi standar terbuka LoRaWAN.



Gambar 1 Sistem Arsitektur LORA

Pada penelitian kali ini akan digunakan PZEM sebagai sensor yang akan mengukur parameter energi listrik dan kontroler yang digunakan adalah ESP32 dan norvi agent 1.

Sensor PZEM-1 akan membaca data kemudian data akan dikirim secara serial ke controller dan sensor PZEM-2 data akan dikirim secara modbus ke controller. controller akan mengirimkan data ke node gateway menggunakan LORA, kemudian dari node gateway data akan dikirim menggunakan internet ke cloud.

Sensor PZEM

Sensor PZEM adalah sebuah modul elektronik yang mempunyai fungsi untuk mengukur : tegangan, arus, Daya, Frequency, Energi dan Power Faktor. modul ini mempunyai kelengkapan fitur / fungsi yang sangat lengkap sehingga sangat ideal digunakan untuk percobaan atau proyek untuk pengukuran daya pada jaringan listrik di gedung atau rumah.

Modul PZEM-004T ini diproduksi oleh salah satu perusahaan yang bernama peacefair dengan 2 tipe model yaitu 10 ampere dan 100 ampere. Pengkabelan antara 2 tipe ini berbeda, maka perlu hati-hati ketika menghubungkan dalam suatu rangkaian karena jika ada kesalahan bisa mengakibatkan konseling.



Gambar 2 Sensor PZEM

Modul PZEM-004T ini dipasarkan ada dua jenis yaitu PZEM-004T V2.0 dan PZEM-004T V3.0. yang membedakan antara dua jenis di atas adalah PZEM-004T V2.0 mempunyai tombol reset energy tetapi pada versi V3.00 untuk reset energinya menggunakan software, untuk akurasi dari versi V3.00 lebih baik dibandingkan dengan V2.00. Konversi dan waktu pembacaan versi V3.0 lebih baik, serta protokol komunikasi yang digunakan juga mempunyai perbedaan.

Selain itu modul PZEM-004T 100 Ampere menggunakan modul split core current transformer sehingga penggunaannya lebih mudah karena bisa langsung dipasang pada kabel jaringan yang sudah existing.

Modul PZEM ini berfungsi sebagai pembaca data arus, tegangan, frekuensi, cosphi, energi, dan daya dari beban yang terhubung ke sistem jaringan listrik.



PZEM-004T CT Split Core

Gambar 3 PZEM 004T

Pada penelitian kali ini akan digunakan jenis sensor PZEM tipe dan 014 dan 016. yang membedakan dari tipe sensor ini adalah dari sisi komunikasi datanya yaitu tipe 014 ini menggunakan protokol rs232/ serial komunikasi, sedangkan tipe 016 menggunakan protokol komunikasi modbus.

IOT

Teknologi saat berkembang sangat cepat sekali dan sangat membantu memudahkan pekerjaan kita sehari-hari. perkembangan teknologi salah satunya adalah di area IOT (internet of things).

Apa itu internet of things? Merupakan suatu konsep suatu device/ peralatan yang mempunyai kemampuan untuk saling berkomunikasi dengan peralatan lainya melalui sebuah jaringan intranet maupun internet.

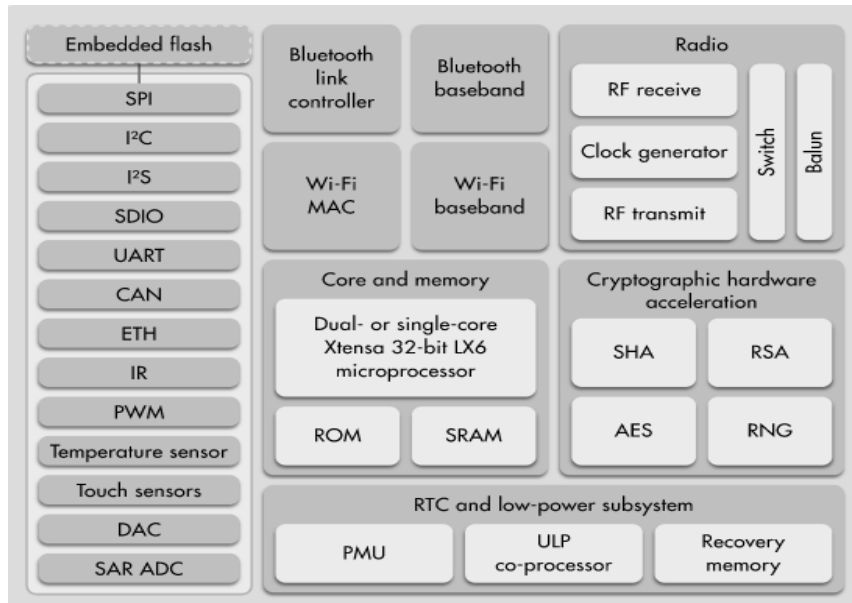
Jadi dengan IOT ini sangat memungkinkan komunikasi antara mesin ke mesin serta mesin ke manusia. salah satu device yang support terhadap teknologi IOT ini adalah ESP32.

Pada sistem smart metering IOT digunakan untuk mendukung pengukuran secara jarak jauh (telemetry dari device to device) atau untuk mendukung integrasi secara sistem. pada penelitian ini sebuah device yang terdiri dari sensor dan controller akan terhubung ke dalam node gateway untuk mempublish data pengukuran, kemudian dari node gateway data tersebut akan dikirimkan ke cloud. cloud disini berfungsi untuk menyimpan data hasil pengukuran ke dalam database, selain itu fungsi cloud adalah untuk web hosting atau web server.

ESP32

ESP 32 adalah salah satu jenis mikrokontroler yang didalamnya sudah ada modem wifinya dan Bluetooth yang bisa saling terintegrasi satu dengan lainnya menggunakan protokol TCP/IP.

Device ini sangat cocok untuk digunakan untuk project IOT karena mempunyai fitur-fitur yang lengkap yang ada didalamnya. berikut ini adalah blok diagramnya.



Gambar 4 Arsitektur ESP32

Esp32 ini mempunyai jenis yang sangat beragam, jenis-jenis dari esp32 ini diklasifikasikan berdasarkan fiturannya.berikut ini adalah jenis-jenis dari esp32.



Gambar 5 Jenis-Jenis ESP32

Spesifikasi

Berikut ini adalah beberapa spesifikasi dari esp32 :

- Esp32 ini mempunyai 2 processor atau biasa disebut dual core
- Wifi dan Bluetooth sudah tertanam di dalamnya
- Dijalankan pada program 32 bit
- Clock Frekuensi 240MHz dan mempunyai ram 512
- Mempunyai device yang lain seperti : ADC, DAC, UART, SPI, I2C

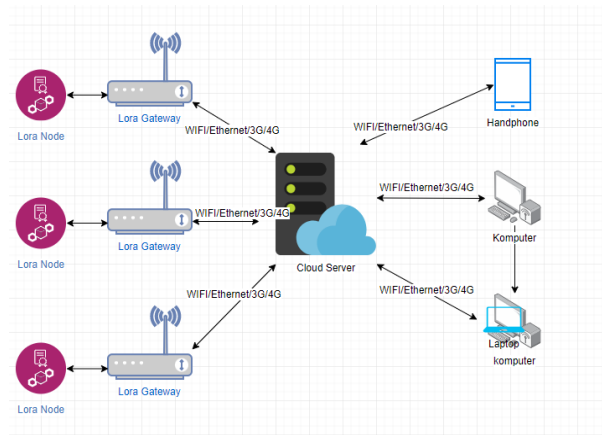
Pada penelitian ini akan digunakan dua jenis esp32 yaitu jenis doit devkit 1 dan jenis esp32 jenis WROOM.ESP32 DOIT Devkit 1 ini akan digunakan sebagai kontroler untuk membaca sensor pzem dimana data yang akan dikirim ke kontroler menggunakan protokol komunikasi serial.

ESP32 WROOM ini akan digunakan untuk membaca data sensor PZEM menggunakan protokol modbus.

METODE

Era industri 4.0 mempengaruhi semua aspek pekerjaan dalam industri, termasuk di dalamnya pekerjaan monitoring energy dan sistem telemetri.

Perencanaan sistem dapat digambarkan seperti pada gambar 2.4 dibawah ini :



Gambar 6 Perencanaan Sistem

Pada penelitian ini akan dibangun sistem telemetri machine to machine untuk pengukuran arus dan tegangan menggunakan LORA seperti pada gambar 6.

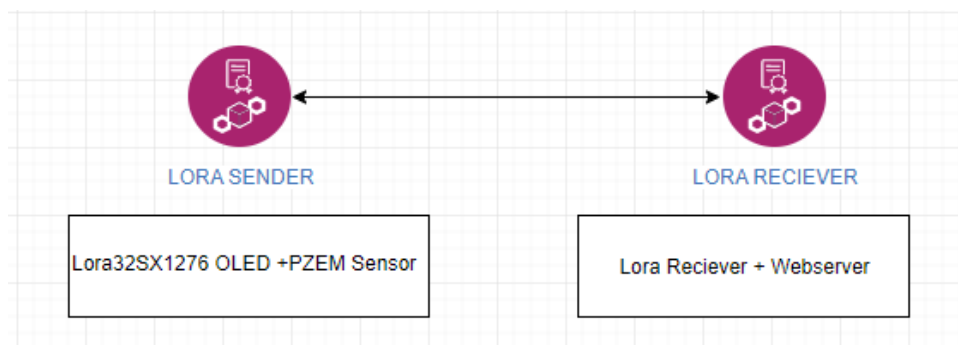
Berdasarkan gambar 6 ada beberapa node LORA yang terhubung ke LORA gateway. node LORA ini terdiri dari sebuah controller dan sensor. dimana fungsi dari sensor ini adalah untuk membaca data dari lapangan kemudian dikirim ke controller, selanjutnya dari controller akan dikirim ke LORA gateway, kemudian dari LORA gateway akan dikirim ke Cloud server menggunakan internet.

Semua dari dari LORA node akan disimpan di cloud server secara online. Cloud server ini terdiri dari beberapa komponen seperti domain dan hosting. hosting disini berfungsi untuk menyimpan semua data yang berasal dari lapangan. selain itu di hosting ini juga data-data tadi disimpan di dalam sebuah database.

Untuk menampilkan semua data data yang berasal dari sensor akan menggunakan media website atau mobile apps. Berikut ini adalah gambaran detail dari perancangan sistem dari sisi hardware dan software.

Bahan dan Alat

Perancangan Hardware



Gambar 7 Hardware

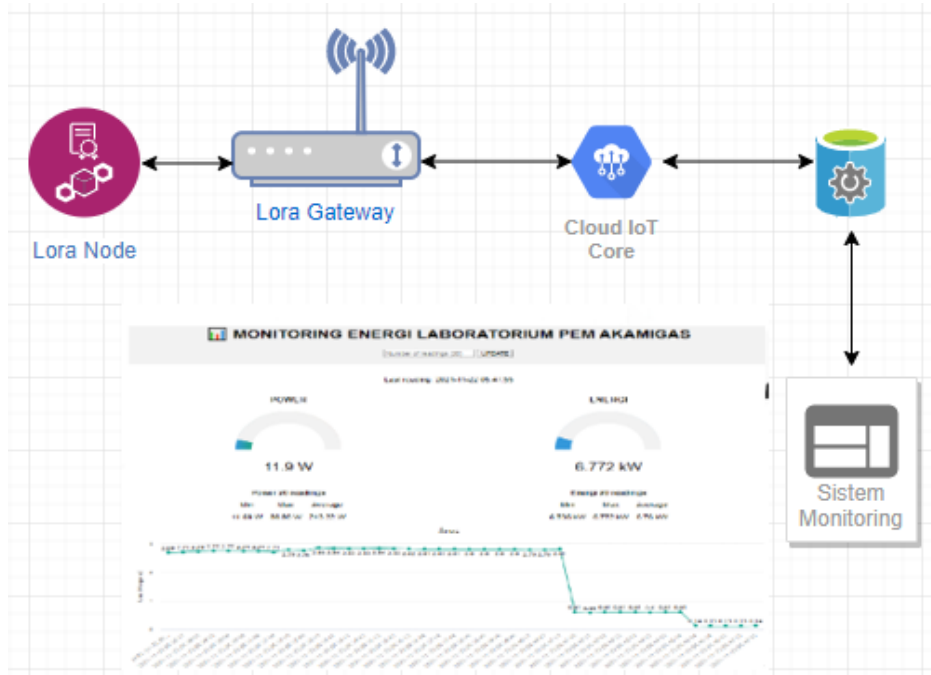
Berdasarkan gambar diatas ada dua device yang terdiri dari LORA sender dan LORA receiver. LORA sender menggunakan Lora 32 SX1276 OLED yang berfungsi untuk mentransmisikan data hasil pengukuran ke LORA receiver(node gateway).

LORA sender juga terhubung ke PZEM sensor yaitu selain LORA sender sebagai transmitter, LORA sender juga berfungsi sebagai kontroler yang berfungsi untuk melakukan komputasi dari data-data yang dihasilkan oleh sensor PZEM.

LORA Receiver disini berfungsi untuk mengumpulkan data dari beberapa LORA sender sebelum data-data tersebut akan dikirim ke database yang ada di sistem cloud.

LORA Receiver juga berfungsi sebagai web server dimana fungsi dari webser ini adalah untuk melakukan parsing data yang ada di LORA reciever. data hasil parsing tadi akan didistribusikan ke database menggunakan nodejs.

Perancangan Software



Gambar 8 Software

PZEM data dari LORA gateway dikirim ke server cloud melalui internet. Proses yang terjadi pada sistem ini adalah data yang ada di LORA gateway akan dilakukan parsing menggunakan nodejs, kemudian hasil parsing data akan dikirim ke database dengan format HTML dan syntax PHP.

Setelah data tersimpan di dalam database data akan diambil dan ditampilkan di website menggunakan PHP dan javascript and nodejs.

Prosedur / Langkah

Dalam penelitian ini kami menggunakan metode penelitian yang diagram blok nya ada di Gbr. 3.5 Diagram Alir Penelitian.



Gambar 9 Diagram Alir Penelitian

Adapun langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Observasi

Observasi dilakukan sebagai dasar pengetahuan untuk merancang alat sistem pengukuran arus dan tegangan menggunakan LORA. Observasi lapangan juga disertai dengan studi literatur agar diperoleh pemahaman mengenai Sistem IOT.
- b. Persiapan Alat dan Bahan

Dalam tahap ini akan dipersiapkan alat-alat yang mendukung pengerjaan penelitian ini.
- c. Perencanaan dan Pembuatan Alat

Perencanaan dimulai dengan penyusunan blok diagram (mekanisme) sistem. Pembuatan alat meliputi: pembuatan software dan hardware.

d. Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang dibuat sudah mencapai target/ tujuan yang diinginkan. Jika belum, maka dilakukan perencanaan/ desain ulang.

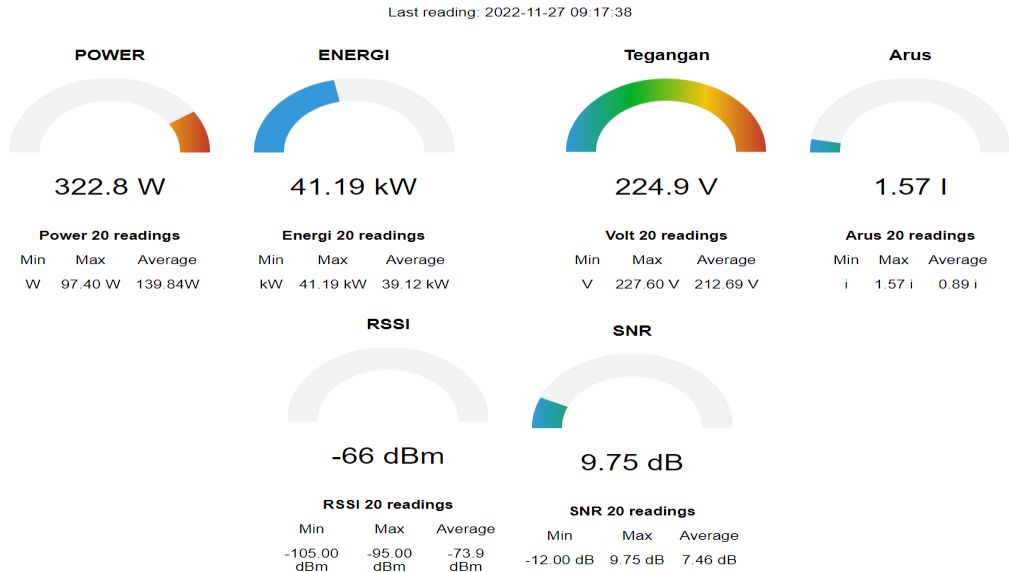
e. Kesimpulan

Jika alat yang dibuat telah bekerja sesuai dengan tujuan maka alat siap dicoba di lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

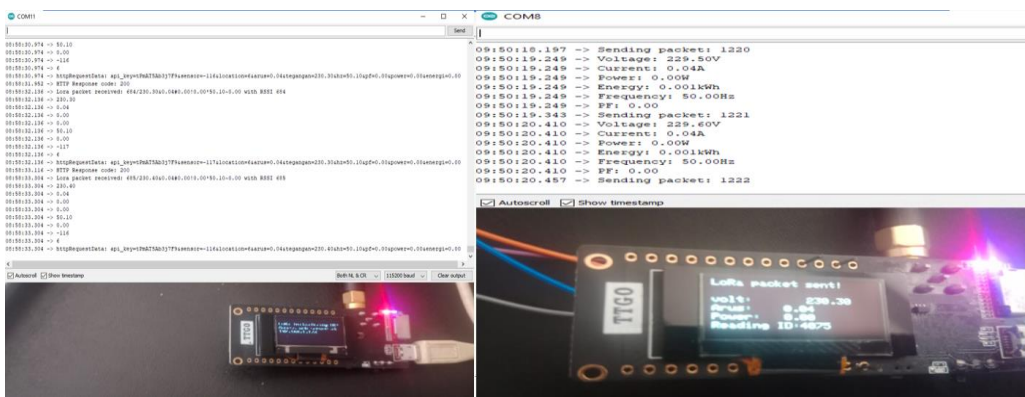
Deskripsi Hasil Penelitian

Hasil dari penelitian yang dilakukan adalah berupa prototype software dan hardware dimana produk penelitian ini bisa berfungsi untuk melakukan monitoring energy listrik secara realtime dan secara online gambar 1 merupakan salah satu bentuk grafik user interface dari penelitian yang dilakukan.



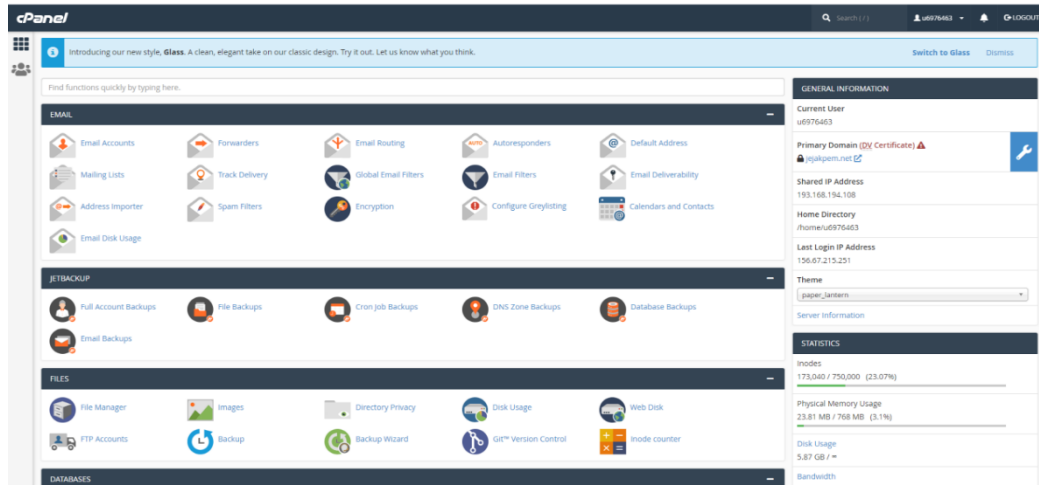
Gambar 10 Interface Monitoring Energi

Berdasarkan gambar diatas maka kita bisa mengetahui hasil monitoring dari penggunaan energi secara realtime kita bisa mengetahui nilai energi dengan parameter seperti power, energi, tegangan, arus, RSSI dan SNR.



Gambar 11 Testing Hardware

Gambar 11 merupakan tampilan dari testing hardware esp32 dan serial monitor arduino dimana pada fase ini dilakukan pengujian esp32 pada sisi transmitter dan pengujian esp32 pada sisi receiver. Berdasarkan gambar diatas bisa diketahui pengujian esp32 transmitter dan esp32 receiver berhasil dilakukan dan hasil pengujian ini bisa dilihat di bagian serial monitor arduino, dimana data-data hasil pengukuran dari sensor pzem bisa dibaca oleh esp32 transmitter, demikian juga pada sisi receiver data bisa diterima dengan baik.

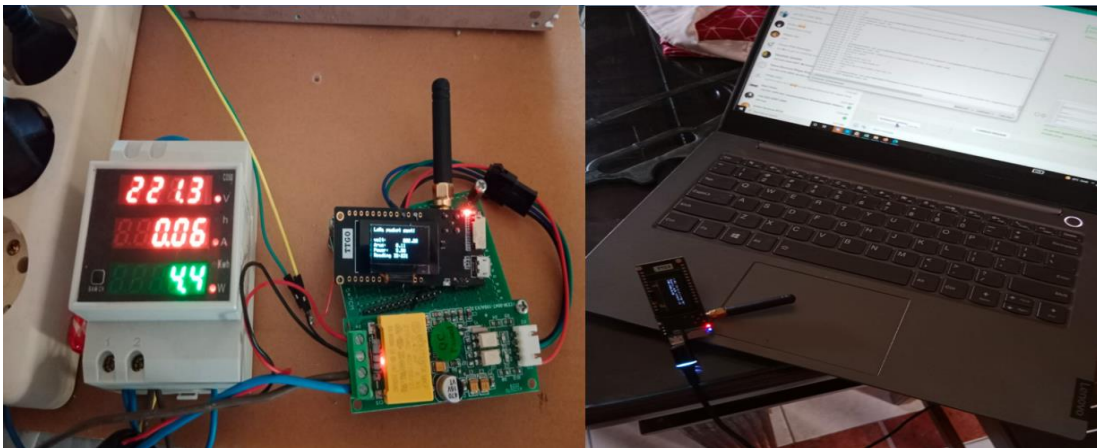


Gambar 12 Web Hosting

Supaya sistem ini bisa berjalan dan diakses secara internet of things maka dibutuhkan sebuah layanan web hosting. webhosting ini adalah sebagai web server yang berfungsi untuk menyimpan data sensor yang ada dilapangan dan sebagai layanan service supaya bisa terkoneksi ke internet.

Pembahasan Hasil Penelitian

Gambar 13 dibawah ini adalah sebagai hasil dari percobaan yang telah dilakukan yaitu pengiriman data dari transmitter (sensor ke esp32) ke receiver (esp32 dan device laptop).



Gambar 13 Pengiriman data TX ke RX

Berdasarkan gambar 13 pada sisi sebelah kiri ada komponen sensor pzem yang terhubung ke esp32 LORA kemudian ada device lagi yang berfungsi sebagai pembanding pengukuran dari sensor pzem.

Esp32(tx) akan mengirimkan data pembacaan sensor ke esp32 yang terhubung ke komputer(rx).Di komputer kita bisa mengamati parameter-parameter yang dikirim oleh tx seperti nilai tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, cosphi,dll.

Data-data tersebut akan diolah oleh esp32 kemudian akan dikirimkan ke database yang ada di web server seperti pada gambar dibawah ini.

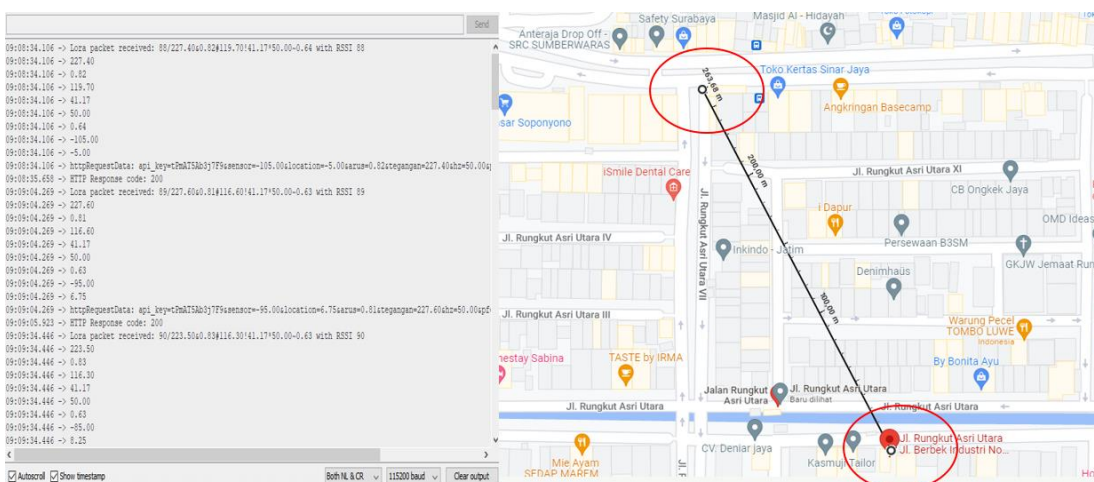
			id	sensor	location	arus	tegangan	frekuensi	pf	power	energi	reading_time	
<input type="checkbox"/>				9966	PZEM	LAB	0.49	225.70	49.90	0.59	65.00	6.456	2021-11-22 03:25:20
<input type="checkbox"/>				9967	PZEM	LAB	2.07	223.60	50.00	0.98	454.70	6.458	2021-11-22 03:25:50
<input type="checkbox"/>				9968	PZEM	LAB	2.07	223.50	50.00	0.98	454.00	6.462	2021-11-22 03:26:20
<input type="checkbox"/>				9969	PZEM	LAB	2.07	223.70	50.00	0.98	455.40	6.465	2021-11-22 03:26:52
<input type="checkbox"/>				9970	PZEM	LAB	2.07	223.80	50.00	0.98	455.20	6.469	2021-11-22 03:27:22
<input type="checkbox"/>				9971	PZEM	LAB	2.07	223.80	50.00	0.98	455.10	6.473	2021-11-22 03:27:53
<input type="checkbox"/>				9972	PZEM	LAB	0.49	226.50	50.00	0.60	65.40	6.474	2021-11-22 03:28:23
<input type="checkbox"/>				9973	PZEM	LAB	0.56	226.70	50.00	0.60	75.90	6.475	2021-11-22 03:28:53
<input type="checkbox"/>				9974	PZEM	LAB	0.50	226.40	50.00	0.60	68.50	6.475	2021-11-22 03:29:23
<input type="checkbox"/>				9975	PZEM	LAB	0.48	225.90	50.00	0.59	64.90	6.476	2021-11-22 03:29:53
<input type="checkbox"/>				9976	PZEM	LAB	0.47	226.90	50.00	0.59	62.50	6.477	2021-11-22 03:30:24
<input type="checkbox"/>				9977	PZEM	LAB	0.46	226.10	50.00	0.59	61.70	6.477	2021-11-22 03:30:54
<input type="checkbox"/>				9978	PZEM	LAB	0.45	226.90	50.00	0.59	60.70	6.478	2021-11-22 03:31:24
<input type="checkbox"/>				9979	PZEM	LAB	0.45	226.40	49.90	0.59	60.30	6.478	2021-11-22 03:31:54
<input type="checkbox"/>				9980	PZEM	LAB	0.45	225.90	49.90	0.59	60.40	6.479	2021-11-22 03:32:26
<input type="checkbox"/>				9981	PZEM	LAB	0.45	226.30	49.90	0.59	59.70	6.479	2021-11-22 03:32:56
<input type="checkbox"/>				9982	PZEM	LAB	0.44	226.70	49.90	0.59	59.50	6.480	2021-11-22 03:33:27
<input type="checkbox"/>				9983	PZEM	LAB	0.44	226.70	50.00	0.59	59.40	6.480	2021-11-22 03:33:57
<input type="checkbox"/>				9984	PZEM	LAB	0.45	225.20	50.00	0.59	59.40	6.481	2021-11-22 03:34:27
<input type="checkbox"/>				9985	PZEM	LAB	0.44	225.60	50.00	0.59	58.80	6.481	2021-11-22 03:34:57
<input type="checkbox"/>				9986	PZEM	LAB	0.44	226.20	50.00	0.59	58.80	6.482	2021-11-22 03:35:28
<input type="checkbox"/>				9987	PZEM	LAB	0.44	226.40	50.00	0.59	58.80	6.482	2021-11-22 03:35:58
<input type="checkbox"/>				9988	PZEM	LAB	0.44	225.60	50.00	0.59	58.50	6.483	2021-11-22 03:36:28
<input type="checkbox"/>				9989	PZEM	LAB	0.44	226.40	49.90	0.58	58.50	6.483	2021-11-22 03:36:58
<input type="checkbox"/>				9990	PZEM	LAB	0.44	225.50	50.00	0.58	58.20	6.484	2021-11-22 03:37:29

Gambar 14 Field Database

Berdasarkan gambar 14 kita bisa menyimpan hasil data pengukuran yang ada dilapangan secara realtime. Hasil pengukuran seperti nilai dari arus, tegangan, pf, power, energi akan tersimpan secara otomatis ke dalam database dan kita juga bisa mengetahui kapan data-data tersebut tersimpan. kemudian setelah data hasil pengukuran tersimpan di database langkah selanjutnya adalah data-data tersebut akan ditampilkan ke dalam graphic user interface. GUI yang digunakan dalam sistem ini adalah menggunakan website atau web mobile.

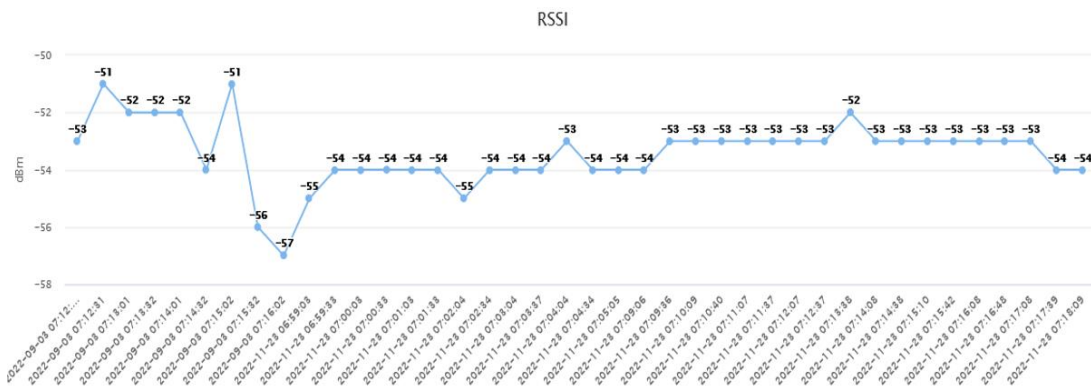
Hasil Luaran Yang Dicapai

Hasil luaran yang diinginkan dari penelitian ini adalah bagaimana hasil pengukuran yang ada dilapangan bisa dikirim ke server menggunakan LORA.



Gambar 15 jarak pengukuran LORA dari TX ke RX

Gambar diatas adalah hasil pengiriman data dari transmitter to receiver dengan jarak sekitar 200 meter data-data hasil pengukuran seperti arus, tegangan, power, energi, dll bisa terkirim ke node server dengan lancar walaupun ada noise. kita pengiriman data dari TX ke RX dipengaruhi oleh nilai dari RSSI .berikut ini adalah data RSSI dari gambar diatas.



Gambar 16 RSSI

RSSI (Received Signal Strength Indicator) adalah salah satu teknologi yang berfungsi untuk mengukur kekuatan sinyal, semakin jauh lokasi TX dan RX maka sinyal semakin lemah dan pengiriman data mengalami delay. RSSI dipengaruhi oleh noise, multipath fading, power transmit, serta gangguan lainnya. Berdasarkan gambar 16 rata-rata RSSI pada percobaan yang dilakukan adalah sekitar -52. Kesimpulannya adalah semakin tinggi nilai minus dari RSSI maka sinyal antara transmitter dan receiver akan semakin lemah.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada pengukuran energi listrik diperoleh hasil bahwa perancangan sistem telemetri data energi listrik secara realtime telah berhasil dibuat, data dari sensor bisa terkirim menggunakan protokol LORA serta hasil pengukuran tersimpan di database mysql. Selain itu, perancangan alat ukur energi dengan LORA ini berhasil mengukur data : power, energi, tegangan, arus, frekuensi, cos phi, rssi, dan snr. Kemudian interface monitoring pada pengukuran ini secara mudah bisa diakses menggunakan website. Serta jarak jangkauan pada penelitian ini hanya 260m pada area urban ini disebabkan karena menggunakan indoor antena.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriana, Hadi baehaqi, Zulkarnaen, Sistem KWH meter digital menggunakan modul PZEM-004t
- Dania Eridan, Monitoring System in Lora Network Architecture using Smart Gateway in Simple LoRa Protocol, 2019 International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI).
- Get to know PZEM-004T electronic Modules for electrical Measurement tools 2019, diakses tgl 04122020, <https://www.nn-digital.com/en/blog/2019/08/07/get-toknow-pzem-004t-electronic-modules-for-electrical-measurement-tools/>.
- Luis F. Ugarte, LoRa Communication as a Solution for Real-Time Monitoring of IoT Devices at UNICAMP, 2019 IEEE.
- Tasdik Darmana, Metode deteksi fasa pada saluran listrik tegangan rendah dengan ESP32 dan komunikasi LORA. 2021
- Zhiming Liu, Design and Implementation on a LoRa System with Edge Computing, 2020 IEEE.