

Desain dan Implementasi Jaringan Sensor Nirkabel berbasis IoT dengan komunikasi LoRa untuk Sistem Monitoring Kualitas Daya dan Energi Listrik

Saifudin Usman^{*1}, Darmanto², Fachrul Rozie³

^{1,2,3}Politeknik Negeri Ketapang

E-mail: ^{*1}saifudinu@politap.ac.id, ²darmanto@politap.ac.id ³fachrul.rozie@politap.ac.id

Abstrak

Penerapan IoT telah terbukti efektif di banyak bidang, seperti yang dikonfirmasi pada konsep Industri 4.0, yang merevolusi rantai produksi modern. Dengan mengikuti pendekatan ini, penggunaan arsitektur kontrol terdistribusi dan teknologi IoT baik kabel maupun nirkabel akan menghasilkan solusi efektif untuk pengelolaan lingkungan cerdas yang terdiri dari kelompok bangunan, seperti kampus, kota maupun industri. Dalam hal ini, solusi IoT heterogen biasanya diadopsi untuk memenuhi persyaratan skenario yang sangat beragam misalnya, cakupan dalam ruangan versus luar ruangan, node seluler versus node tetap, membuat integrasi skala besar menjadi sulit. Untuk mengatasi masalah ini, makalah ini menyajikan arsitektur IoT yang mampu mengelola protokol komunikasi yang berbeda secara transparan di lingkungan cerdas, dan menyelidiki kemungkinan penerapannya untuk pemantauan dan pengendalian sumber daya energi di smart campus. Secara khusus, solusi yang diusulkan pada kasus ini adalah pengembangan jaringan sensor nirkabel yang berfokus pada integrasi teknologi Long Range (LoRa) pada peralatan sensor daya listrik yang terpasang pada panel distribusi listrik tiap gedung kampus. Oleh karena itu, akan dirancang sebuah sistem berupa Sensor-Node dan gateway yang menggunakan protokol komunikasi modbus untuk mengirimkan data ke server aplikasi sistem monitoring kualitas daya dan energi secara realtime. Jaringan sensor nirkabel dengan LoRa ini diharapkan dapat mengatasi skenario komunikasi dalam dan luar ruangan yang heterogen. Hasil dari penelitian ini adalah sebuah prototipe modul sensor-node dan gateway yang terintegrasi dengan aplikasi sistem monitoring yang akan menampilkan beberapa informasi penting dari kualitas daya dan energi listrik yang digunakan, antara lain: tegangan, arus, frekuensi, faktor daya, daya reaktif, daya aktif, daya semu, harmonisa arus dan tegangan serta penggunaan energi.

Kata Kunci— IoT, LoRa, Modbus, Protokol, Energi

1. PENDAHULUAN

Mengetahui secara *real-time* tentang kondisi instalasi listrik disuatu bangunan komersial atau industri sangat penting saat ini. Pemanfaatan *Internet of things* (IoT) [1] menjadi salah satu teknologi yang digunakan pada instrumen pemantauan instalasi listrik yang juga memungkinkan penyimpanan dan analisis data di *Cloud*. Banyak instalasi listrik di industri diamati secara lokal oleh pekerja dengan menggunakan komunikasi modbus RS485 [2], tetapi tidak tersambung ke jaringan atau internet, sehingga pengukuran tidak dapat diakses dari jarak jauh. Perusahaan yang menggunakan sensor Industri 4.0 mengumpulkan banyak sekali data, mengukur berbagai karakteristik, termasuk variabel kelistrikan. Pengkabelan untuk modbus RS485, dimana pengukuran menjadi terkonsentrasi pada pusat kendali seringkali pengkabelan harus ditambah atau dimodifikasi karena diperlukan untuk mengintegrasikan banyak sekali alat ukur daya atau *power metering* kedalam instalasi listrik pada bangunan komersial atau industri. Keterbatasan pada

kecepatan komunikasi data dan panjang kabel maksimum, menjadikan modbus RS485 tidak layak untuk digunakan di beberapa industri.

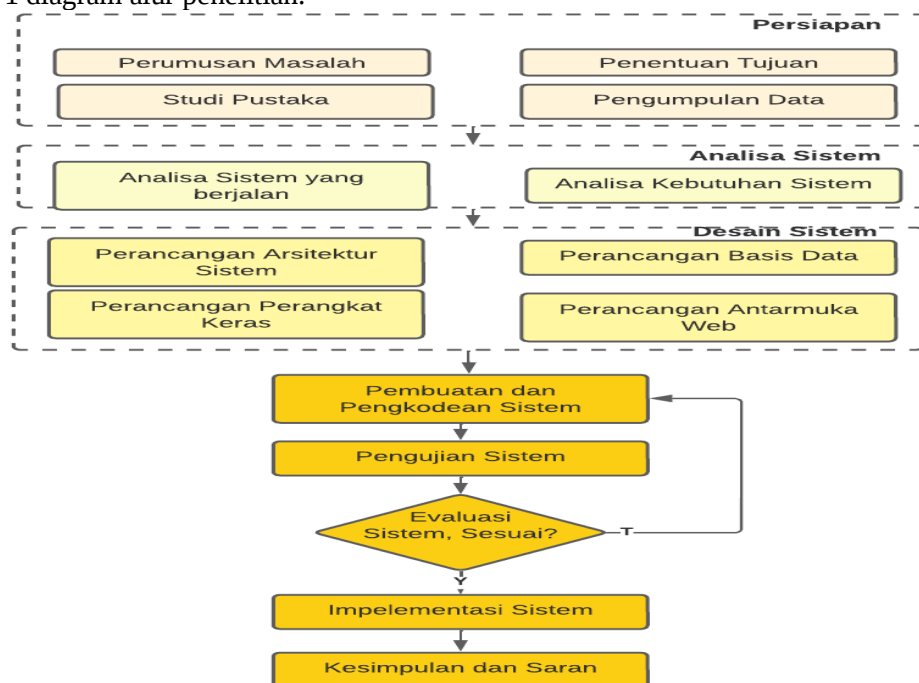
Dengan kondisi ini, pilihan menggunakan teknologi nirkabel akan menghilangkan penggunaan kabel dan keterbatasan pada jarak komunikasi. Komunikasi nirkabel seperti Long Range (LoRa) memiliki karakteristik yang ideal untuk digunakan penelitian ini, karena memiliki jangkauan atau cakupan yang luas pada ruang terbuka maupun di ruang tertutup, sehingga sangat memadai untuk sebagian besar instalasi yang letaknya pada banyak panel distribusi tiap gedung yang terpisah seperti bangunan industri. Penggunaan LoRa selain menghilangkan penggunaan kabel, namun tidak harus mengganti perangkat power meter berbasis komunikasi modbus RS485 [3]. Masih banyak sekali industri yang menggunakan alat ukur, sensor atau kendali yang berbasis modbus, sehingga membuat kombinasi antara modbus RS485 dengan LoRa yang terintegrasi pada perangkat IoT dapat menjadi solusi dalam membuat sistem monitoring kualitas daya dan energi listrik dengan memanfaatkan penyimpanan data pada server virtualisasi atau layanan *Cloud* [4].

Pada penelitian ini, sistem komunikasi nirkabel LoRa digunakan untuk membuat perangkat monitoring kualitas daya dan energi listrik yang di implementasikan di panel utama distribusi tegangan rendah Politeknik Negeri Ketapang yang tersambung daya listrik dari PLN sebesar 197 KVA. Penelitian ini juga sebagai bagian dari penerapan teknologi *smart campus* yang penerapannya bisa dilakukan secara bertahap [5].

2. METODE PENELITIAN

2.1. Tahapan Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yang dilakukan. Adapun serangkaian tahapan dalam pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada gambar 1 diagram alur penelitian.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

2.1.1. Tahap Persiapan

Sebagai tahap persiapan, beberapa pelaksanaan persiapan dilakukan, mulai dengan merumuskan masalah yang ada di sistem lama dan menentukan tujuan dan manfaat dari penelitian yang akan dilaksanakan. Setelah melakukan observasi lapangan untuk mendapatkan data dan informasi tempat penelitian dilakukan yaitu Politeknik Negeri Ketapang, tim peneliti juga melakukan kajian pustaka terhadap penelitian terkait yang terdahulu.

2.1.2. Analisa Sistem

Pada tahap ini beberapa analisa dilakukan yaitu, analisa terhadap sistem yang berjalan untuk mengetahui bagaimana cara kerja sistem lama berjalan dan masalah yang dihadapi untuk dijadikan sebagai landasan usulan pada perancangan sistem baru yang diusulkan. Sedangkan analisa kebutuhan sistem dilakukan untuk menentukan secara spesifik kebutuhan sistem yaitu kebutuhan perangkat keras seperti sensor atau alat ukur, mikrokontroler dan modul komunikasi LoRa yang akan digunakan. Selain itu analisa kebutuhan infrastruktur server untuk menjalankan aplikasi layanan web juga dilakukan.

2.1.3. Desain Sistem

Tahap perancangan dilakukan secara bertahap, yaitu dimulai dengan perancangan arsitektur sistem secara keseluruhan hingga bisa di implementasikan, kemudian dilanjutkan dengan beberapa proses perancangan seperti perancangan perangkat keras untuk pembuatan sensor-node dan gateway-node, perancangan basis data dan perancangan aplikasi web.

2.1.4. Pembuatan dan Pengkodean Sistem

Tahap pengkodean merupakan proses menterjemahkan analisa dan perancangan sistem yang dibuat kedalam bahasa pemrograman. Beberapa pengkodean dikerjakan pada penelitian ini diantaranya pengkodean pada perangkat keras mikrokontroler sensor-node dan gateway-node, pengkodean antarmuka aplikasi web dan pengkodean beberapa servis yang dijalankan sebagai kontainer di layanan *Cloud*.

2.1.5. Pengujian Sistem

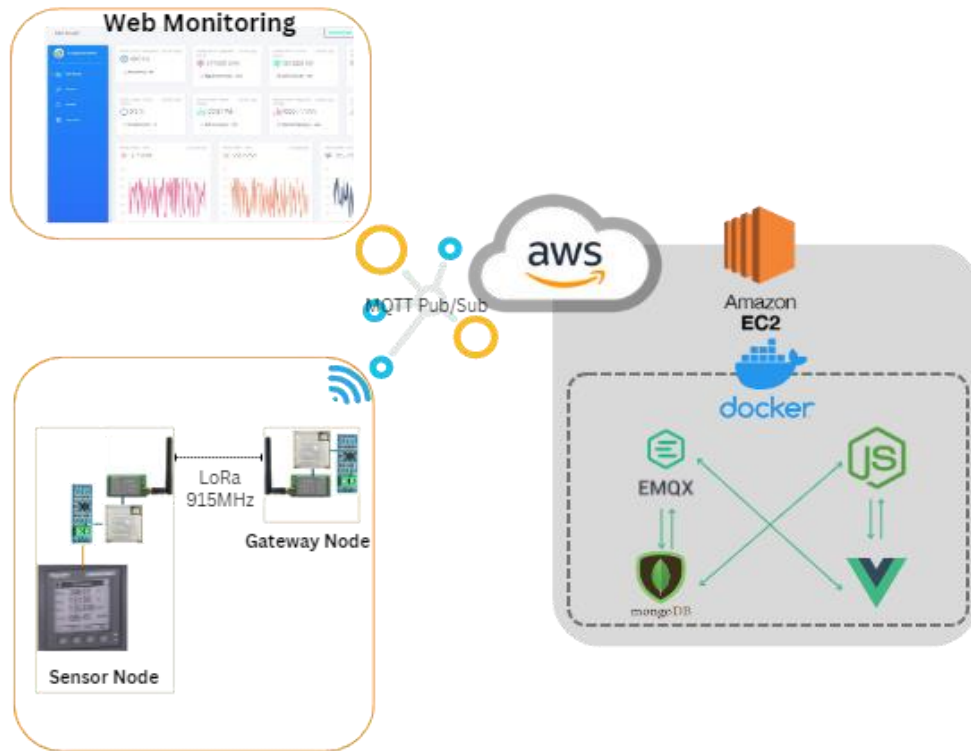
Pengujian dari aspek logik dan fungsional dilakukan pada sistem untuk memastikan agar sistem berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Semua modul perangkat lunak yang dikerjakan harus melewati tahap pengujian dengan metode *blackbox testing*, sedangkan pengujian pada perangkat keras dilakukan dengan melakukan pengukuran. Hasil pengujian kemudian akan di evaluasi, untuk dilakukan perbaikan atau perubahan sistem.

2.1.6. Implementasi

Tahap penerapan sistem dilakukan setelah sistem versi pengembangan sudah melalui tahapan pengujian, kemudian sistem versi ini akan disimpan di repositori dan kemudian dibangun dan dijalankan pada infrastruktur *Cloud* yang sudah disiapkan. Sehingga jika diperlukan adanya perbaikan pada sistem, dimana terdapat ketidaksesuaian yang tidak terdeteksi saat pengujian, versi produksi tidak perlu mengalami perubahan secara langsung.

2.2. Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem yang dikembangkan terdiri dari 2 bagian yaitu perangkat keras yang berupa sensor-node dan gateway-node dan perangkat lunak yang berupa aplikasi berbasis web yang ditempatkan pada layanan Cloud AWS EC2 [6]. Rancangan arsitektur sistem yang dibangun pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Arsitektur Sistem

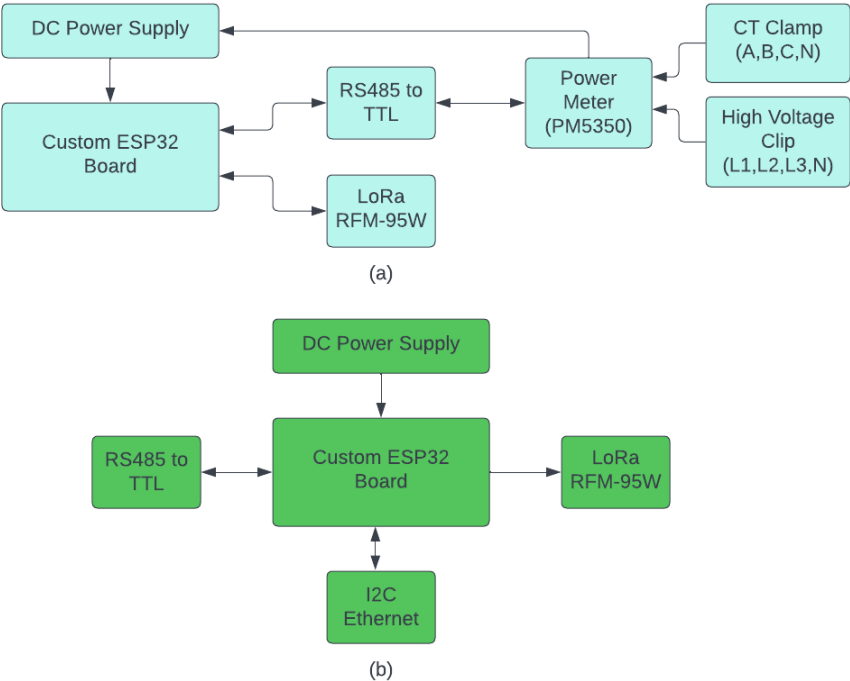
2.3. Sensor-Node

Pada sensor-node, modul komunikasi modbus RS485 dan LoRa 915MHz di integrasikan pada mikrokontroler ESP32. Sensor-node berfungsi sebagai perangkat yang membaca hasil data pengukuran dari *power meter* yang menggunakan protokol komunikasi modbus, kemudian melakukan konversi data hasil pengukuran dan mengirimkannya menggunakan modul komunikasi LoRa. Spesifikasi modul LoRa RFM95W yang digunakan, ditampilkan pada tabel 1.

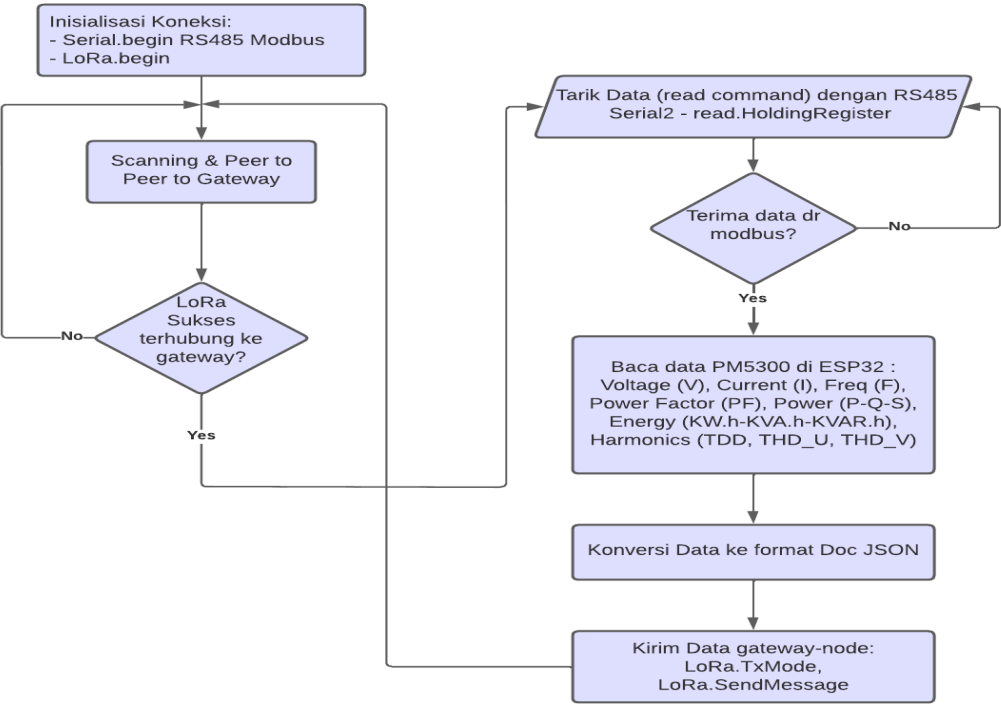
Tabel 1. Spesifikasi LoRa RFM95W [7]

<i>Frequency Band</i>	868 / 915 MHz
<i>Spreading Factor</i>	6 - 12
<i>Bandwidth</i>	125 - 500 kHz
<i>Effective Bitrate</i>	0.293 - 37.5kbps
<i>Estimated RX Sensitivity</i>	-111 s/d -136 dBm

Rancangan perangkat keras sensor-node dan gateway-node ditunjukkan pada gambar 3, sedangkan diagram cara kerja sensor-node dapat dilihat pada gambar 4.



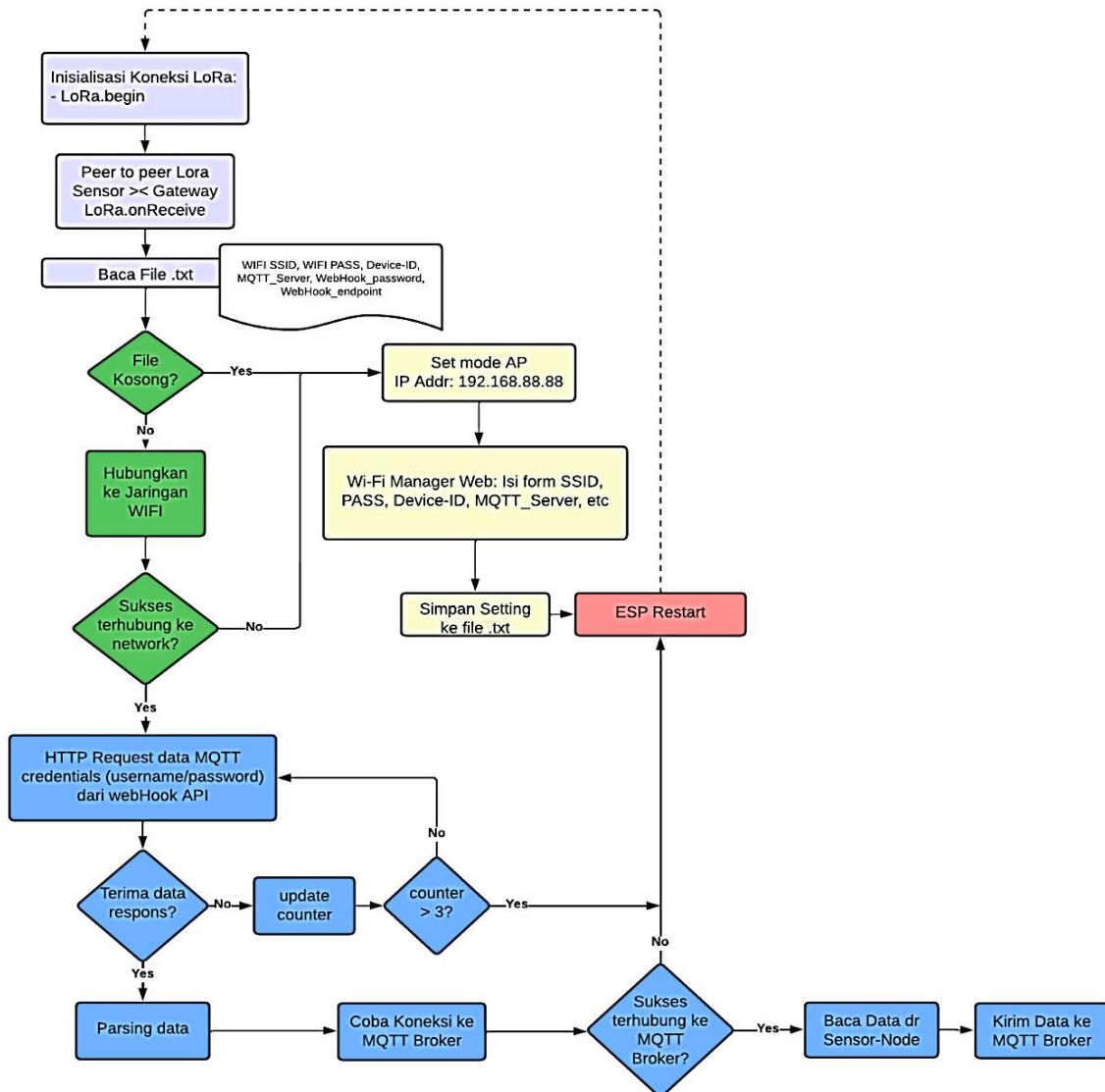
Gambar 3. Diagram Blok rancangan sensor-node (a) dan gateway-node (b)



Gambar 4. Diagram alur sistem kerja sensor-node

2.4. Gateway-Node

Gateway-Node yang dirancang pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan beberapa modul tambahan yaitu modul komunikasi LoRa RFM95W [7] dan Ethernet I2C sebagai modul komunikasi cadangan jika tidak tersedia koneksi WiFi untuk terhubung ke internet. Sistem kerja pada gateway-node dirancang hanya bekerja pada secara *point-to-point* saja, sehingga hanya bisa hanya bisa melayani satu sensor-node dengan komunikasi *peer-to-peer*. Diagram alur sistem kerja dari gateway-node ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alur sistem kerja gateway-node

2.5. Aplikasi Web

Untuk implementasi sistem, satu mesin virtual dibuat pada penyedia layanan Cloud AWS EC2 dengan opsi gratis. Beberapa servis seperti MQTT broker [8] dan servis lain yang berjalan sebagai kontainer *docker* [9] terhubung dalam satu jaringan virtual ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Servis dan Port yang berjalan sebagai kontainer

Servis	Port
EMQX - MQTT Broker	8083,8084,1883,18083
MongoDB - Document DB	12707
NodeJS - Runtime JS	3001
VueJS - FE Framework	3000

Spesifikasi dari mesin virtual yang digunakan ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi virtual mesin pada AWS EC2

Spesifikasi	Port
Sistem Operasi	Linux Ubuntu 18.04
Tipe	t2.micro
Kapasitas Memory	1GB
Kapasitas Storage	8GB

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil perakitan Alat

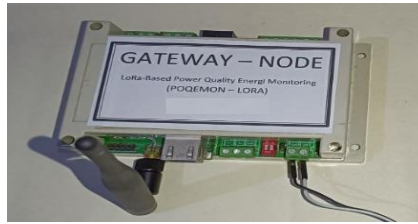
Pada perakitan perangkat keras sensor-node, sebuah *power meter* yang berfungsi sebagai alat pengukur dan penganalisa instalasi listrik dipasang menjadi satu bagian pada dengan sensor-node, sehingga alat ini juga dapat dengan mudah dipasang dan dipindah ke panel listrik ditempat lain. Sensor-Node yang sudah dirakit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, dipasang pada panel utama distribusi tegangan rendah tanpa perlu adanya koneksi internet untuk pengiriman data.



Gambar 6. Hasil Perakitan Sensor-Node

Beberapa parameter yang akan dimonitor pada sistem monitoring [10] kualitas daya dan energi listrik diantaranya adalah arus (I), tegangan (V), frekuensi (f), faktor daya (pf), daya (P/Q/S), energi (kWh/kVAh/kVARh) dan harmonisa (THD).

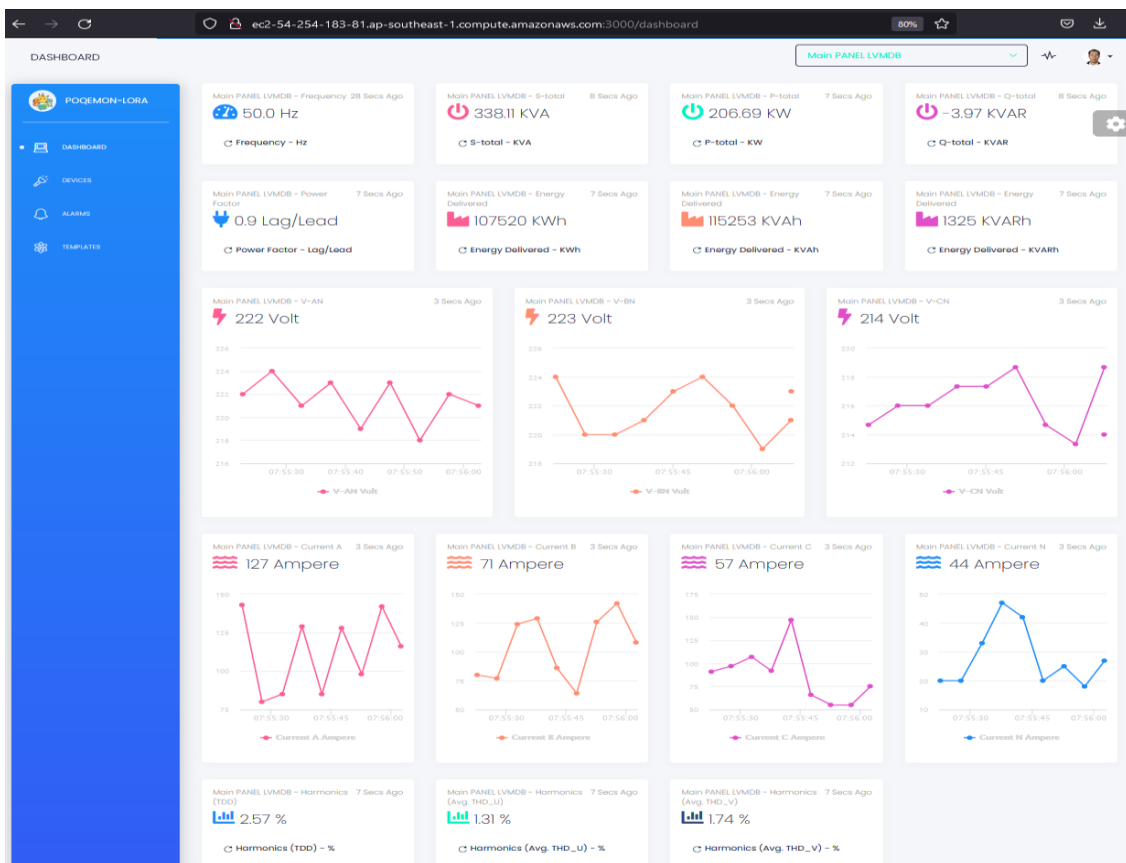
Pada Gateway-Node, pemasangan harus dilakukan pada tempat yang tersedia jaringan internet, koneksi internet yang digunakan bisa menggunakan koneksi WiFi atau koneksi kabel LAN.



Gambar 7. Hasil Perakitan Gateway-Node

3.2. Tampilan Aplikasi Web

Sistem aplikasi web monitoring kualitas daya dan energi yang dibuat pada penelitian ini dapat diakses dengan internet pada alamat URL : <http://ec2-54-254-183-81.ap-southeast-1.compute.amazonaws.com:3000> , yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Tampilan Dashboard Monitoring

3.3. Pengujian

Pengujian kinerja dari komunikasi LoRa dilakukan pada kondisi Non-LOS yang dilakukan di beberapa gedung yang terpisah antara sensor-node dan gateway-node. Perangkat

sensor-node yang berfungsi sebagai pengirim data (TX) dipasang didalam ruangan panel utama distribusi, sedangkan posisi gateway-node yang berfungsi sebagai penerima data (RX) diletakkan pada 5 titik yang berbeda.



Gambar 10. Titik lokasi pengujian Non LOS

Dari hasil pengujian kinerja pada kondisi Non-LOS, didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 4. Tabel hasil pengujian kekuatan sinyal LoRa

Posisi (RX)	Average RSSI	Average SNR
	dBm	dB
P1	-59	8,9
P2	-71	7,8
P3	-82	5,9
P4	-91	2,6
P5	-102	-5,8

Tabel 5. Tabel hasil pengujian delay pengiriman pada RX_P1

Data Tx Timestamp	Data Rx Timestamp	RSSI	Delay
(UTC+7)	(UTC+7)	dBm	second
00:23:39	00:23:41	-59	2,05
00:23:54	00:23:59	-58	2,05
00:24:25	00:24:27	-60	2,08
00:24:55	00:24:57	-61	2,10
00:25:11	00:25:13	-59	2,06

Dari tabel 4, dapat dilihat bahwa nilai RSSI terendah adalah -102 dBm pada titik P5, dan nilai RSSI tertinggi adalah -59 pada titik P1, sedangkan nilai delay rata-rata disemua posisi adalah 2,06 detik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, maka kesimpulan yang dapat ditarik dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan komunikasi LoRa dapat diterapkan dan memiliki kinerja yang baik, dimana berdasarkan hasil pengukuran pada kondisi Non-LOS dapat mencapai jarak hingga lebih dari 100 m dengan nilai RSSI terendah yaitu -102 dBm dan SNR -5,7 dB.
2. Pengiriman data dari sensor-node ke gateway-node, memiliki delay yang cukup stabil dengan nilai rata-rata adalah 2,06 detik.
3. Aplikasi web sistem monitoring kualitas daya dan energi listrik yang dihasilkan menampilkan data secara *realtime* dan berjalan dengan baik pada layanan *Cloud*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Gadekar, M. Pimple, S. Thopate, and A. Nikam, 'IOT Based Smart Energy Meter Using ESP 32', *SSRN Electron. J.*, 2021, doi: 10.2139/ssrn.3917892.
- [2] W. Buchanan, 'Modbus', in *Computer Busses*, Elsevier, 2000, pp. 301–312. doi: 10.1016/B978-034074076-7/50018-3.
- [3] S. Elamanov, H. Son, B. Flynn, S. K. Yoo, N. Dilshad, and J. Song, 'Interworking between Modbus and internet of things platform for industrial services', *Digit. Commun. Netw.*, p. S2352864822001882, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.dcan.2022.09.013.
- [4] S. Usman, I. Winarno, and A. Sudarsono, 'SDN-Based Network Intrusion Detection as DDoS defense system for Virtualization Environment', *Emit. Int. J. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 2, pp. 252–267, Dec. 2021, doi: 10.24003/emitter.v9i2.616.
- [5] M. Cordiaz, 'Penerapan Smart Campus sebagai Pendukung Kegiatan Pendidikan dalam Tri Dharma Perguruan Tinggi', *J. Inform. Univ. Pamulang*, vol. 2, no. 2, p. 77, Jun. 2017, doi: 10.32493/informatika.v2i2.1508.
- [6] M. F. Falah *et al.*, 'Comparison of cloud computing providers for development of big data and internet of things application', *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 22, no. 3, p. 1723, Jun. 2021, doi: 10.11591/ijeecs.v22.i3.pp1723-1730.
- [7] 'RFM95W feature the LoRaTM long range model| Hoperf'. <https://www.hoperf.com/modules/lora/RFM95.html> (accessed Dec. 26, 2022).
- [8] K. Panayiotou, E. Tsardoulis, and A. L. Symeonidis, 'CommLib: An easy-to-use communication library for Cyber-Physical Systems', *SoftwareX*, vol. 19, p. 101180, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.softx.2022.101180.
- [9] 'What is a Container? | Docker', Nov. 11, 2021. <https://www.docker.com/resources/what-container/> (accessed Dec. 26, 2022).
- [10] 'Analisis Implementasi Sistem Monitoring dan Penyiraman Otomatis Dalam Budidaya Porang Berbasis IoT | Budihartono | Smart Comp :Jurnalnya Orang Pintar Komputer'. <https://ejournal.poltektegal.ac.id/index.php/smartcomp/article/view/3894> (accessed Dec. 26, 2022).