

Sistem Pemantau Parameter Listrik Menggunakan Protokol Modbus RTU dan BACnet dengan Transmisi Data MQTT

¹Yogi Dwi Prasetyo, ²Eko Budi Utomo, ³Farida Gamar

^{1,2,3}Teknik Mekatronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya

¹Yogidwiprasetyo@me.student.pens.ac.id, ²ekobudi_u@pens.ac.id, ³farida@pens.ac.id,

Article Info

Article history:

Received May 4th, 2025

Revised May 6th, 2025

Accepted May 28th, 2025

Keyword:

Modbus RTU TTL Level
BACnet
MQTT
Node-Red

ABSTRACT

Monitoring electricity consumption at the Smart Automation Workshop (SAW) building of PENS is a fundamental step toward optimizing efficient resource management. This study aims to design and implement an affordable, efficient, and real-time electrical energy monitoring system supported by Internet of Things (IoT) technology. The system employs PZEM-004T sensors to measure electrical parameters, controlled by an ESP32 as a Modbus RTU master. The collected data is transmitted using the MQTT protocol and visualized through the Node-RED platform in an interactive dashboard format. In addition, a preliminary study of BACnet communication protocol integration was conducted as an alternative for interoperability with building automation systems. The method involves hardware–software integration, wireless MQTT communication, and real-time data visualization. The novelty of this research lies in the combination of the PZEM-004T-based measurement system with initial BACnet connectivity implementation in a unified IoT monitoring platform. The results demonstrate that the system can measure, record, and present electrical data in real-time with high accuracy and detect overload conditions. This system is suitable for deployment in educational environments or small- to medium-scale industries and serves as a foundation for developing open and intelligent energy monitoring solutions. The main conclusion is that the system has operated effectively and provided accurate data to support energy management decision-making.

Copyright © 2025 Jurnal JEETech.
All rights reserved.

Corresponding Author:

Yogi Dwi Prasetyo,

Teknik Mekatronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya,

Email: Yogidwiprasetyo@me.student.pens.ac.id

Pemantauan konsumsi daya listrik di Gedung Smart Automation Workshop PENS merupakan langkah fundamental dalam upaya mengoptimalkan pengelolaan sumber daya secara efisien. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring energi listrik yang efisien, terjangkau, dan mampu bekerja secara real-time dengan dukungan teknologi Internet of Things (IoT). Sistem ini menggunakan modul sensor PZEM-004T sebagai alat ukur parameter listrik, dikendalikan oleh ESP32 yang berfungsi sebagai master Modbus RTU. Data dari sensor dikirim melalui protokol MQTT dan divisualisasikan melalui platform Node-RED dalam bentuk dashboard interaktif. Selain itu, dilakukan studi awal integrasi protokol komunikasi BACnet sebagai alternatif pengembangan untuk mendukung interoperabilitas dengan sistem otomasi gedung. Metode yang digunakan mencakup integrasi perangkat keras dan perangkat lunak, komunikasi nirkabel berbasis MQTT, serta visualisasi data secara real-time. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada kombinasi sistem pengukuran menggunakan sensor PZEM-004T dengan pendekatan awal konektivitas BACnet dalam satu platform monitoring berbasis IoT. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengukur, mencatat, dan menyajikan data kelistrikan secara real-time dengan tingkat akurasi yang baik, serta dapat mendeteksi kondisi beban berlebih. Sistem ini berpotensi diterapkan pada lingkungan pendidikan maupun industri skala kecil hingga menengah sebagai dasar

pengembangan sistem pemantauan energi yang cerdas dan terbuka. Kesimpulan utama dari penelitian ini menyatakan bahwa sistem telah berfungsi dengan baik dan memberikan data yang akurat untuk mendukung pengambilan keputusan dalam manajemen energi.

Kata Kunci: Modbus RTU TTL Level, BACnet, MQTT, Node-Red

1. PENDAHULUAN

Konsumsi energi listrik merupakan aspek fundamental dalam operasional gedung modern, termasuk Gedung Smart Automation Workshop (SAW) PENS, yang dilengkapi berbagai perangkat elektronik dan sistem otomasi. Dengan meningkatnya kesadaran akan efisiensi energi dan pengelolaan sumber daya secara berkelanjutan, kebutuhan akan sistem monitoring yang akurat dan mudah diakses menjadi semakin penting. Sistem ini harus mampu merekam berbagai parameter listrik secara real-time, untuk memberikan informasi yang diperlukan dalam pengambilan keputusan manajemen energi [1][2]. Dalam konteks ini, teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan solusi yang menjanjikan. Dengan IoT, pengumpulan, pengolahan, dan visualisasi data dapat dilakukan secara terintegrasi, memungkinkan akses jarak jauh dan analisis mendalam terhadap pola konsumsi energi [3][4]. Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan sensor PZEM-004T, yang memiliki kemampuan untuk mengukur tegangan, arus, daya aktif, energi, frekuensi, dan faktor daya. Data dari PZEM-004T dikirimkan ke ESP32 sebagai master, yang kemudian meneruskan data ini melalui protokol MQTT ke antarmuka Node-RED untuk visualisasi serta ke database MySQL untuk penyimpanan historis [5][6].

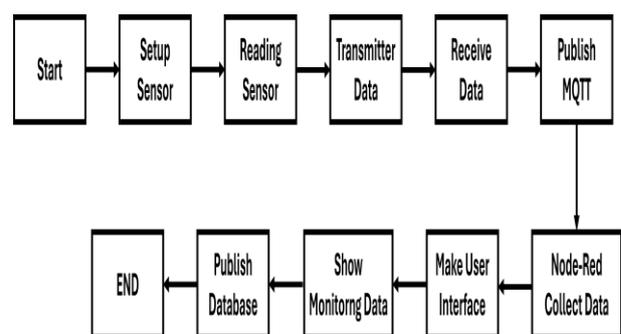
Dalam penelitian ini telah dilakukan perancangan dan pengimplementasian sistem monitoring konsumsi daya listrik yang terjangkau namun handal untuk digunakan di gedung skala kecil hingga menengah. Sistem ini memberikan kontribusi nyata dalam efisiensi energi dan pengelolaan sumber daya yang lebih baik di lingkungan pendidikan dan penelitian seperti PENS [7][8]. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) membuka peluang besar dalam menciptakan sistem monitoring energi yang terjangkau dan dapat diakses dari mana saja. Dengan menggunakan sensor PZEM-004T yang memiliki multiple slave

ID, data dapat dikumpulkan secara terpusat melalui ESP32 dan dikirimkan secara real-time ke Node-RED untuk analisis visual serta pencatatan ke dalam database MySQL [9][10]. Selain protokol Modbus RTU yang telah digunakan secara aktif dalam pengambilan data sensor, sistem ini juga dirancang untuk mendukung komunikasi berbasis protokol BACnet. BACnet dikenal luas dalam sistem otomasi gedung (Building Automation System) karena mendukung interoperabilitas antardevice. Namun, pada penelitian ini, implementasi BACnet masih dalam tahap studi dan eksplorasi awal. Penambahan ini menjadi langkah awal bagi pengembangan sistem ke arah yang lebih terbuka dan terintegrasi ke sistem otomasi skala luas.

2. METODE PENELITIAN

A. Desain Rancangan Sistem Keseluruhan

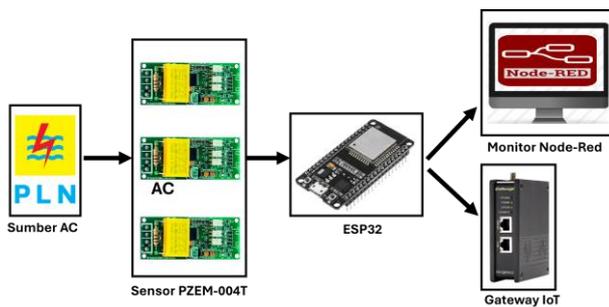
Sistem ini dirancang untuk memantau penggunaan konsumsi energi listrik secara real-time menggunakan sensor PZEM-004T yang terhubung ke ESP32 sebagai master. Prosesnya dimulai dengan pengaturan sensor untuk memastikan perangkat terhubung dengan benar. Setelah sensor terdeteksi, data dikumpulkan dan dikirimkan melalui jalur komunikasi RS485 ke ESP32. Data yang diterima kemudian dikonversi menjadi format JSON dan diteruskan ke broker MQTT. Dari broker MQTT, data diambil oleh Node-RED untuk diolah dan divisualisasikan dalam bentuk dashboard interaktif. (Lihat Gambar 1 – Diagram Alur Sistem Keseluruhan).



Gambar 1 Diagram Alur Sistem Keseluruhan

B. Perancangan Sistem

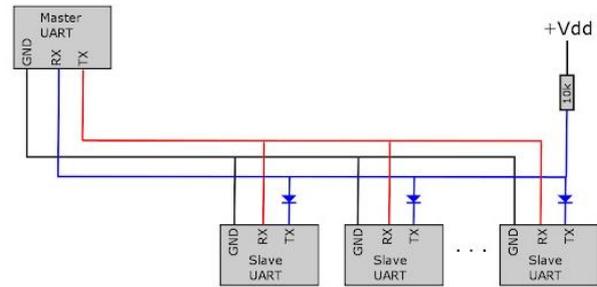
Perancangan perangkat keras mencakup penghubungan sensor PZEM-004T dengan ESP32 melalui modul RS485. Setiap sensor memiliki ID slave yang unik untuk memastikan komunikasi yang stabil dan terorganisir. Sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur berbagai parameter listrik seperti tegangan, arus, daya aktif, energi, frekuensi, dan faktor daya. ESP32 berfungsi sebagai master yang mengelola komunikasi dengan sensor dan bertanggung jawab untuk mengirim data ke server melalui protokol MQTT. Sistem ini juga dilengkapi dengan catu daya yang stabil untuk memastikan sensor dan mikrokontroler bekerja dengan baik. (Lihat Gambar 2 - Rangkaian Sistem).



Gambar 2 Rangkaian Sistem Monitoring

C. Perancangan Sistem Komunikasi

Sistem ini menggunakan arsitektur multiple slave dengan single master, di mana satu ESP32 berfungsi sebagai master. Setiap PZEM-004T dikonfigurasi dengan ID slave yang unik untuk menghindari konflik data pada jalur komunikasi serial. Pada sistem ini, data dari masing-masing sensor dikirim ke ESP32 melalui antarmuka serial, yang kemudian diteruskan ke broker MQTT untuk diproses lebih lanjut dan ditampilkan di Node-RED. Topologi komunikasi ini menggunakan pendekatan multidrop UART/TTL, di mana beberapa slave terhubung secara paralel ke satu jalur data, memungkinkan master untuk melakukan polling data dari setiap slave secara bergantian. Gambar 3 menunjukkan diagram koneksi fisik antara ESP32 (master) dan beberapa PZEM-004T (slave).



Gambar 3 Rangkaian Multidrop Single Master dan Multiples Slave

Dengan menggunakan cara seperti ini memungkinkan penggunaan beberapa slave dalam satu jalur komunikasi tanpa memerlukan banyak port serial pada mikrokontroler master, sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan hardware dan memperluas kapasitas monitoring sistem monitoring.

D. Perancangan ID PZEM-004T

Pengaturan ID slave pada sensor PZEM-004T dilakukan untuk membedakan setiap sensor dalam satu jalur komunikasi RS485, terutama saat menggunakan sistem multiple slave dengan satu master. Proses pengaturan ini menggunakan perangkat USB to RS485 yang dihubungkan ke komputer dan aplikasi Modbus Poll sebagai antarmuka software.



Gambar 4 Perancangan Set ID PZEM-004T

Sensor PZEM-004T pertama-tama dihubungkan ke jalur A dan B dari USB to RS485, lalu perangkat dicolokkan ke komputer untuk mengenali port komunikasi serial yang digunakan. Setelah aplikasi Modbus Poll dibuka, pengguna mengakses menu koneksi dan mengatur parameter komunikasi seperti baudrate (9600 bps), data bit (8), parity (None), dan stop bit (1). Kemudian pengguna membuka jendela "Read/Write Definition", memilih fungsi "Write Single Register" dengan alamat register 0x0002, dan memasukkan nilai ID slave baru yang diinginkan (misalnya 1, 2, 3, dan seterusnya). Setelah ID dikirim dan diterima oleh sensor, koneksi diputus lalu sensor siap digunakan dalam jaringan Modbus RTU bersama ESP32. Proses ini diulang untuk

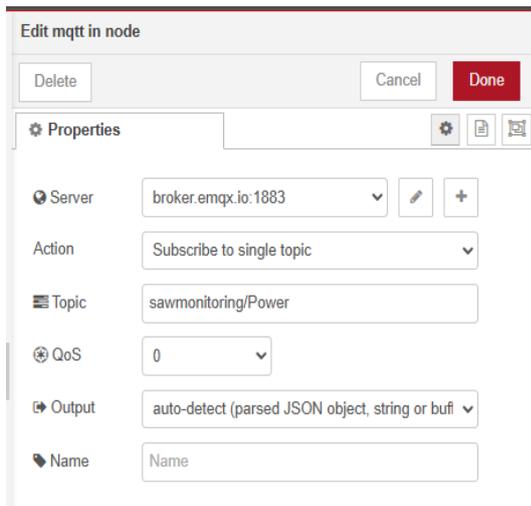
setiap sensor dengan memastikan hanya satu sensor aktif dalam jaringan setiap kali proses pengaturan dilakukan agar tidak terjadi konflik identifikasi.



Gambar 5 Setting Perangkat Keras Pengubah ID Sensor

E. Perancangan Sistem Pengiriman Data

Setelah data dikumpulkan dari setiap sensor, data tersebut dikirim ke server menggunakan protokol MQTT. Data dikemas dalam format JSON dan dikirim melalui topik yang telah dikonfigurasi untuk setiap parameter listrik, seperti tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, dan faktor daya. Pendekatan ini memastikan data dari berbagai sensor dapat diterima dan diproses secara terpisah oleh server, memungkinkan pengelompokan dan analisis data yang lebih akurat.

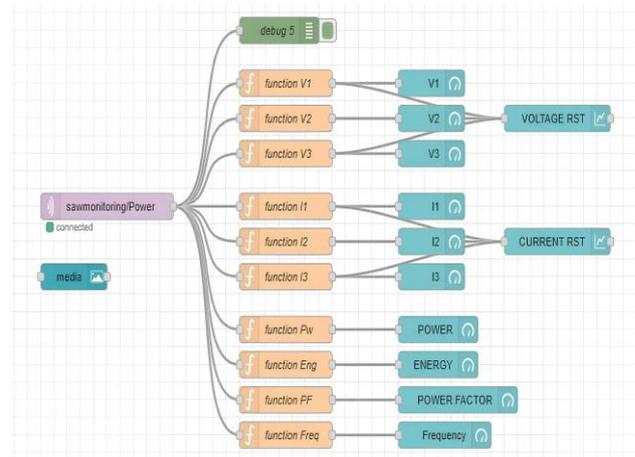


Gambar 6 Tampilan Setting MQTT pada Node-Red

F. Perancangan Dashboard Node-Red

Node-RED digunakan sebagai antarmuka visual untuk menampilkan data yang dikirim dari broker MQTT. Dashboard ini dirancang untuk menampilkan berbagai parameter listrik dalam bentuk grafik dan tabel secara real-time. Setiap node

pada dashboard dikonfigurasi untuk menerima data dari topik yang berbeda, memastikan setiap parameter listrik dapat dimonitor secara independen. Desain dashboard ini dibuat sederhana namun informatif untuk memudahkan pengguna dalam memantau kondisi sistem.



Gambar 7 Tampilan Flow Function Akses Modbus

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian sistem monitoring energi listrik berbasis PZEM-004T menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengukur berbagai parameter kelistrikan secara real-time dengan tingkat akurasi yang sangat baik. Data dari setiap sensor dikirimkan ke broker MQTT melalui master ESP32 dan kemudian dipantau menggunakan software MQTT Explorer secara real-time. Sistem ini mampu memperbarui data dengan cepat sesuai perubahan kondisi beban, memastikan setiap perubahan tegangan dapat segera terdeteksi tanpa penundaan. Pengujian tegangan tiga fasa dilakukan untuk memastikan setiap sensor PZEM-004T dapat membaca tegangan pada masing-masing fasa (R, S, T) secara terpisah. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sistem mampu merekam perubahan tegangan secara akurat dan konsisten pada setiap fasa dalam waktu nyata. Gambar 6 memperlihatkan hasil pengukuran tegangan tiga fasa yang dikirimkan melalui MQTT Explorer.



Gambar 8 Tampilan Payload pada MQTT Explorer

Sistem juga telah diuji coba untuk konektivitas ke protokol BACnet dengan menggunakan beberapa jenis gateway. Meskipun pengujian masih terbatas pada sisi koneksi dan identifikasi perangkat melalui software pendukung BACnet, hasilnya menunjukkan potensi integrasi yang baik ke dalam sistem bangunan pintar. Namun, hingga tahap ini, pengujian BACnet masih bersifat eksploratif dan belum terhubung secara penuh ke sistem utama karena keterbatasan otorisasi perangkat.



Gambar 9 Perangkat BACnet untuk Gateway IoT

Hasil pengukuran yang ditampilkan pada dashboard Node-RED itu sudah menunjukkan bahwa sistem ini mampu merekam berbagai parameter kelistrikan secara real-time dengan tingkat akurasi yang baik. Data dari setiap sensor PZEM-004T dikirim melalui ESP32 ke broker MQTT, kemudian divisualisasikan pada Node-RED dalam bentuk grafik untuk memudahkan analisis data. Kemudian pada Gambar 7 menunjukkan hasil pembacaan tegangan pada masing-masing fasa (R, S, T). Nilai tegangan dari setiap fasa ditampilkan secara terpisah, serta dilengkapi dengan grafik yang menunjukkan bahwa sistem mampu mencatat perubahan nilai tegangan. Setiap perubahan tegangan segera terupdate pada dashboard pada

grafik, memastikan data yang diperoleh sesuai dengan kondisi aktual di lapangan.



Gambar 10 Desain Tampilan UI untuk Tegangan

Pada gambar 8 menampilkan hasil pembacaan arus pada masing-masing fasa (R, S, T). Sama seperti pengukuran tegangan, data arus ditampilkan dalam bentuk grafik untuk menunjukkan perubahan nilai secara real-time. Sistem ini mampu mencatat arus dengan cepat, memberikan gambaran yang jelas mengenai kondisi arus pada setiap fasa. Hal ini penting untuk memastikan keamanan dan mencegah overcurrent pada jaringan listrik. Gambar 9 menunjukkan hasil pengukuran parameter kelistrikan yang lainnya, seperti daya aktif (power), frekuensi, energi, dan faktor daya (power factor). Daya aktif menunjukkan energi yang dikonsumsi oleh beban secara langsung, sementara frekuensi mengukur stabilitas jaringan listrik. Energi dihitung secara kumulatif untuk mencatat total konsumsi listrik, sedangkan faktor daya mencerminkan efisiensi pemanfaatan energi pada sistem.



Gambar 11 Desain Tampilan UI untuk Arus



Gambar 12 Desain Tampilan UI Parameter Keseluruhan

Tabel 1. Hasil Data Parameter Monitoring

No	Parameter	Nilai Sensor	Nilai Referensi	Error (%)
1	Voltage R	234.4 V	230.0 V	1.91%
2	Voltage S	234.2 V	230.0 V	1.83%
3	Voltage T	234.6 V	230.0 V	2.00%
4	Current R	0.55 A	0.53 A	3.77%
5	Current S	0.55 A	0.53 A	%
6	Current T	0.55 A	0.53 A	3.77%
7	Power	110.8 W	108.0 W	2.59%
8	Power Factor	0.27	0.28	3.57%
9	Energy	0.11 kWh	0.115 kWh	4.35%
10	Frequency	50 Hz	50 Hz	0.00%

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa semua parameter memiliki error di bawah 5%, yang masih berada dalam batas toleransi akurasi untuk sistem monitoring energi berbasis sensor PZEM-004T. Error terkecil terdapat pada frekuensi (0%), dan yang tertinggi pada pengukuran energi sebesar 4.35%, yang tetap dapat diterima dikarenakan sifat akumulatif dan fluktuatif dari parameter tersebut. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu merekam parameter-parameter listrik secara akurat, dengan grafik yang stabil dan konsisten, menandakan keandalan sistem dalam pengelolaan data dari beberapa sensor secara bersamaan. Sistem ini berhasil mengintegrasikan sensor PZEM-004T, ESP32, protokol MQTT, dan dashboard Node-RED dalam satu platform yang efisien untuk pemantauan energi listrik. Kemampuan sistem untuk merekam, mengirim, dan menampilkan data secara real-time memberikan informasi yang akurat dan relevan bagi pengguna dalam mendukung pengelolaan energi yang lebih baik.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sistem monitoring energi listrik yang dibuat dengan berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan protokol MQTT dan platform Node-RED mampu menyediakan solusi untuk pengawasan pemakaian energi sebuah gedung secara real-time dan akurat. Dengan integrasi sensor PZEM-004T, data pemakaian energi berhasil direkam lalu dikirimkan ke server broker melalui MQTT dan parameter hasil

data yang dikirim melalui protokol MQTT divisualisasikan secara interaktif menggunakan dashboard Node-RED. Kemudian data dikirimkan melalui database MySql sehingga user dapat melihat pemantauan energi yang tersimpan melalui database yang nantinya data akan diolah untuk keperluan yang dibutuhkan. Sistem ini menunjukkan keandalan dalam memberikan informasi penggunaan energi listrik secara akurat dan efisien. Selain itu, kemudahan integrasi, pengelolaan data yang ringan, serta kemampuan monitoring jarak jauh menjadikan sistem ini sebagai sistem yang sangat praktis untuk mendukung penghematan penggunaan energi listrik. Penelitian ini membuktikan bahwa teknologi IoT dapat menjadi inovasi signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan kemudahan dalam pemantauan lingkungan. Kendala yang dihadapi adalah belum terintegrasinya komunikasi BACnet karena keterbatasan akses ke perangkat. Untuk pengembangan selanjutnya, sistem dapat dikembangkan dengan integrasi BACnet dan platform cloud untuk pemantauan skala luas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Putra, H. Eteruddin, A. Nur Aliansyah, J. Teknik Elektro Universitas Lancang Kuning, J. Teknik Elektro, dan U. Lancang Kuning, "Analisis Sistem Monitoring Daya Listrik Menggunakan Internet of Things (IoT) Pada Gedung Teknik Elektro Politeknik Negeri Bengkalis." [Daring]. Tersedia pada: <https://elektroda.uho.ac.id/>
- [2] M. N. Hidayah, R. Alfita, dan K. Aji, "IMPLEMENTASI INTERNET OF THING UNTUK KONTROL DAN MONITORING KWH METER PASCABAYAR," Jurnal Pendidikan Teknik Elektro Undiksha, vol. 9, no. 3, 2020.
- [3] Z. Ahyadi, E. Prasetyo, dan I. Noor, "SISTEM IOT UNTUK MONITORING PENGGUNAAN ENERGI LISTRIK DENGAN PROTOKOL MQTT," Print) Jurnal POROS TEKNIK, vol. 13, no. 1, hlm. 52–58, 2021.
- [4] V. C. Ogboh dkk., "Design and Implementation of Iot Based Smart Meter," 2024. [Daring]. Tersedia pada: [www.ijeijournal.com](http://www.ijeijournal.com)

- l.com)
- [5] A. N. Ushkov, V. V. Krutskikh, N. O. Strelkov, dan D. S. Chukashov, "Automating Electric Power Consumption with a Smart Electricity Meter," dalam Proceedings - 2024 International Russian Smart Industry Conference, SmartIndustryCon 2024, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2024, hlm. 599–604. doi: 10.1109/SmartIndustryCon61328.2024.10515825.
- [6] "Implementasi Protokol Komunikasi BacNet Pada Prototipe Sistem Otomasi dan Pemantauan Smart Building."
- [7] K. Sidik, S. Kristyana, N. Ayu, P. Yolanda, dan H. N. Hidayat, "SISTEM MONITORING NILAI PARAMETER PADA POWER METER DM6200 BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT) SECARA REALTIME," 2022.
- [8] A. Junaidi, "INTERNET OF THINGS, SEJARAH, TEKNOLOGI DAN PENERAPANNYA: REVIEW," 2015.
- [9] Y. Badruzzaman, J. Teknik, E. Politeknik, dan N. Semarang, "Real Time Monitoring Data Besaran Listrik Gedung Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang."
- [10] O. Kurniawan dan D. Irianto, "Berkenalan Singkat Dengan IoT." [Daring]. Tersedia pada:
<https://www.networkworld.com/article/3207535/what-is-iot-the-internet-of-things-explained.html>